DOCUMENTO EXPLICATIVO DE LOS MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

Fabián Reyes-Bueno
Director del proyecto

Julia Loján Córdova
Analista geoespacial







Sobre este documento

El presente documento que se adjunta a los visores web de susceptibilidad a incendios forestales pretende ser un acompañamiento para comprender el sustento teórico-técnico detrás de los modelos disponibles. En él tendrá una vista rápida del proceso de recolección de información, entrenamiento y validación de modelos de aprendizaje automático, así como, la automatización en la plataforma Google Earth Engine con una explicación del proceso para lanzar una Earth Engine App y un glosario de términos utilizados.

Índice

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES EXPLICATIVAS

La generación de las bases de datos, una para cada cantón de estudio, tiene como finalidad colectar información de variables relacionadas con el inicio de incendios forestales (momento de ignición), cuya inclusión en este proyecto surge de una revisión previa de literatura científica.

Estas bases de datos son el primer paso para generar los modelos de susceptibilidad de incendios forestales, que nos permiten identificar zonas con una probabilidad de ocurrencia mayor y que, por tanto, necesitan una atención prioritaria en la prevención de estos desastres.

Este documento surge en colaboración con tres estudiantes del componente práctico Gestión Productiva 3.1. de la titulación de Gestión Ambiental, y pretende dar una breve explicación del proceso de obtención de las 23 variables que conforman las bases de datos anteriormente mencionadas. En función de ello, este apartado se subdivide en tres secciones: variables topológicas, variables de interacción antrópica y variables del estado de la vegetación.

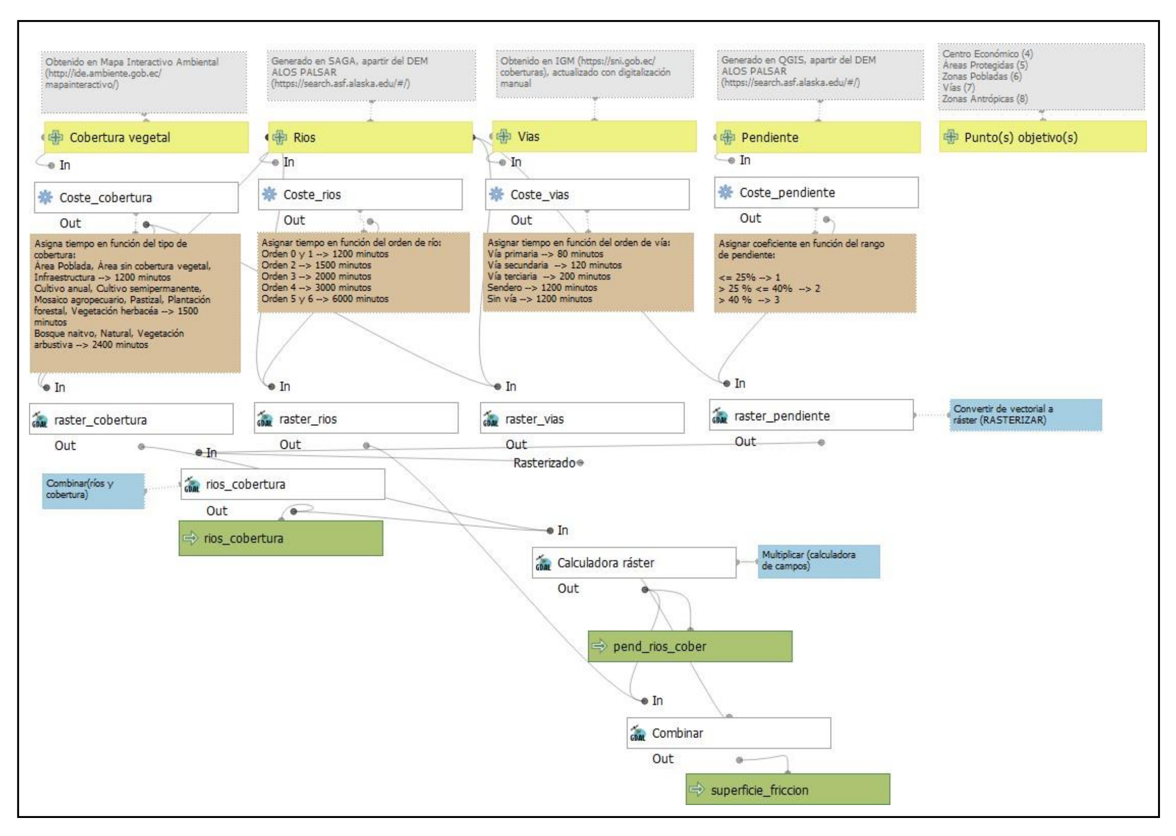
Puede acceder a las bases de datos en el siguiente enlace.

VARIABLES TOPOGRÁFICAS (https://bit.ly/3HTPxjx)

Variable		Descripción	Proceso de obtención	Metadatos de la capa
1	Elevación	Altura sobre el nivel del mar.	Se importa un archivo .kml con los límites del cantón de interés y se realiza la búsqueda de Modelos de Elevación Digital (DEM) disponibles en la web de ALOS PALSAR para la zona. Una vez descargados los archivos en *high resolution* se utiliza la **herramienta de QGIS** para combinar las teselas (Ráster □ Miscelánea □ Combinar), posteriormente se recorta a los límites de nuestra zona de interés (Ráster □ Extracción □ Cortar ráster por capa de máscara)	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 12.5 x 12.5 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 3668 **Unidades:** m.s.n.m.
2	Pendiente	Grado de inclinación del terreno, puede medirse en grados o porcentaje.	Al DEM obtenido en la web de ALOS PALSAR, se le aplica un filtro de suavizado en QGIS **herramienta SAGA** (Simple Filter, Smooth 3). Después de aplicar el filtro de suavizado, se utiliza la **herramienta GRASS** (r.slope.aspect, percent)	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 12.5 x 12.5 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 375 **Unidades:** porcentaje (%)
3	Orientación	Dirección de pendiente descendente que presenta cada celda, tomando como referencia los puntos cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste)	Al DEM obtenido en la web de ALOS PALSAR, se le aplica un filtro de suavizado en QGIS **herramienta SAGA** (Simple Filter, Smooth 3). Después de aplicar el filtro de suavizado, se utiliza la **herramienta GRASS** (r.slope.aspect)	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 12.5 x 12.5 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 360 **Unidades:** grados (°)

VARIABLES DE INTERACCIÓN ANTRÓPICA (https://bit.ly/3HTPxjx)

La generación de las capas de accesibilidad surge a partir de una capa de ***superficie de fricción,*** que contiene el costo añadido que implica la movilización desde cada punto del territorio hasta el punto(s) objetivo(s), la siguiente gráfica pretende ilustrar el proceso seguido para su cálculo.



Metodología tomada de:

Reyes, F. (2017). Mapa de Accesibilidad Territorial. En Manual de Prácticas de Ordenación Territorial (págs. 29-41). Loja: UTPL.

Variable		Descripción	Proceso de obtención	Metadatos de la capa
4	Accesibilidad al centro económico	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta el centro económico.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de centro económico descargada en el portal del SNI.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 343 **Unidades:** minutos
5	Accesibilidad a áreas protegidas	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta áreas protegidas.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de áreas protegidas descargada en el Mapa Interactivo Ambiental. Las categorías consideradas de áreas protegidas son: Sistema Nacional de Áreas Protegidas Bosque y Vegetación Protectora Área Bajo Conservación Patrimonio Forestal del Estado Áreas de Protección Hídrica	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 271 **Unidades:** minutos

6	Accesibilidad a zonas pobladas	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta poblados.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de poblados descargada en el portal del SNI.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 365 **Unidades:** minutos
7	Accesibilidad a vías	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta vías.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de vías descargada en el portal del SNI y actualizada manualmente.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 360 **Unidades:** minutos
8	Accesibilidad a zonas antrópicas	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta zonas pobladas o zonas agropecuarias.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de cobertura vegetal descargada en el Mapa Interactivo Ambiental.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 262 **Unidades:** minutos
9	Distancia desde el centro económico	Distancia desde el centro económico.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de centro económico descargada en el portal del SNI.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 4173 **Unidades:** metros
10	Distancia desde ríos	Distancia desde ríos.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa ríos generada a partir del DEM.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 4173 **Unidades:** metros
11	Distancia desde vías	Distancia desde vías.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa vías descargada en el portal del SNI y actualizada manualmente.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 14253 **Unidades:** metros
12	Distancia desde áreas protegidas	Distancia desde áreas protegidas	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa áreas protegidas descargada en el Mapa Interactivo Ambiental.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño

			Las categorías consideradas de áreas protegidas son: Sistema Nacional de Áreas Protegidas Bosque y Vegetación Protectora Área Bajo Conservación Patrimonio Forestal del Estado Áreas de Protección Hídrica	**Rango de valores:** 0 – 15047 **Unidades:** metros
13	Distancia a zonas antrópicas	Distancia desde zonas pobladas o zonas agropecuarias.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa zonas pobladas o zonas agropecuarias.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Generadores:** Joel Guillén Julia Loján Néstor Merino Esteban Proaño **Rango de valores:** 0 – 661 **Unidades:** metros

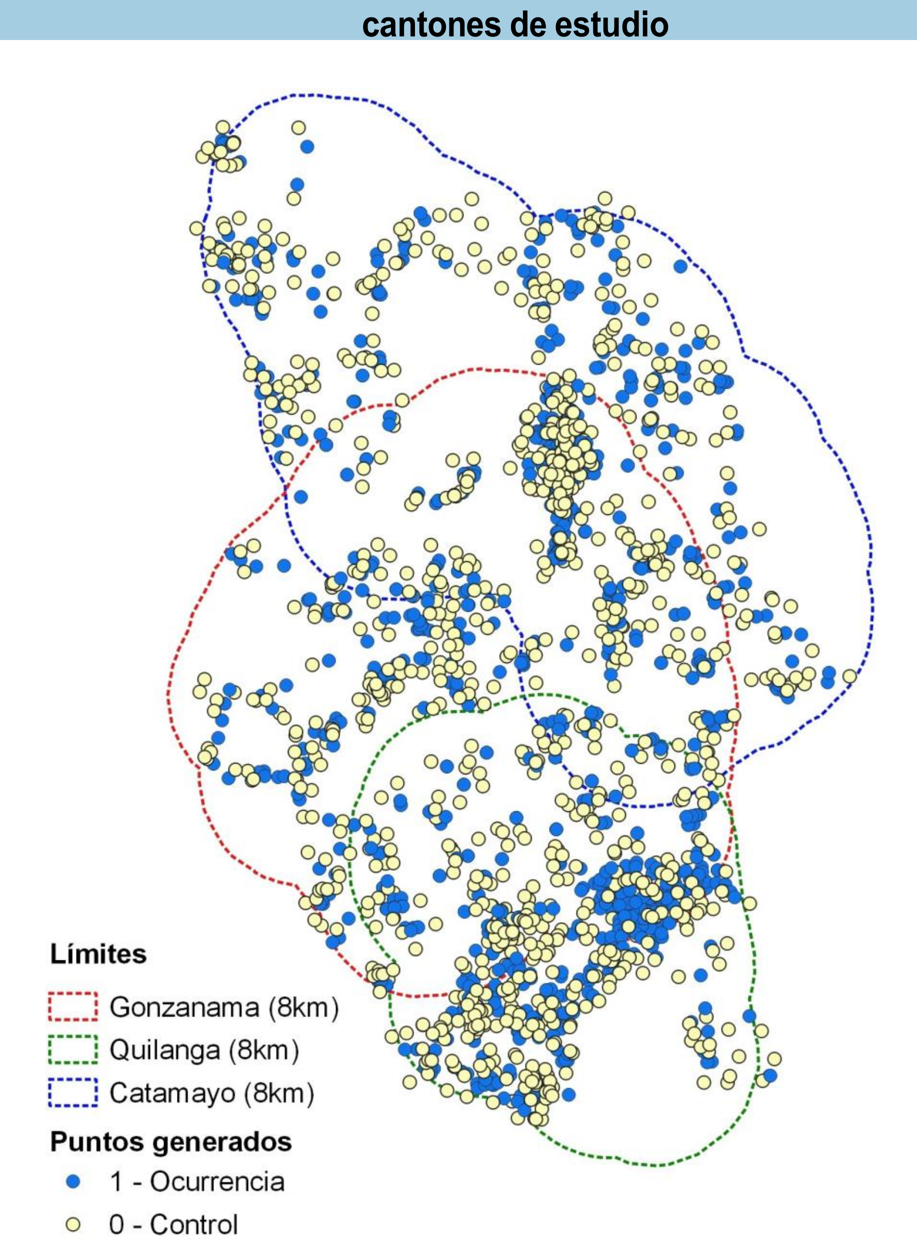
VARIABLES DEL ESTADO DE VEGETACIÓN

(https://terabox.com/s/1WtFtvbjo_NW_VI1gYILWIA Password:t5kq)

Variable		Descripción	Proceso de obtención	Metadatos de la capa
14	ARVI	***Atmospherically Resistant Vegetation Index*** NDVI corregido para efectos de dispersión atmosférica $ARVI = \frac{NIR - (2 * Red) + Blue}{NIR + (2 * Red) + Blue}$ NIR (Near-Infrared Region) □ B8 Red (Rojo, espectro visible) □ B11 Blue (Azul, espectro visible) □ B2	Los índices espectrales o índices de vegetación son descargados mediante el siguiente script de Google Earth Engine, se usa para ello imágenes Sentinel 2A.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
15	BSI	***Bare Soil Index*** Identificar zonas sin cobertura vegetal $BSI = \frac{(Red + SWIR) - (NIR + Blue)}{(Red + SWIR) + (NIR + Blue)}$ Red (Rojo, espectro visible) □ B11 SWIR (Shortwave Infrared) □ B4 NIR (Near-Infrared Region) □ B8 Blue (Azul, espectro visible) □ B2		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
16	GNDVI	***Green Normalized Difference Vegetation Index*** Versión del NDVI más sensible a la variación del contenido de clorofila y nitrógeno en el cultivo $GNDVI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$ SWIR (Shortwave Infrared) □ B3 NIR (Near-Infrared Region) □ B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
17	MSI	***Moisture Stress Index*** Determinar el estrés hídrico de la vegetación $MSI = \frac{MidIR}{NIR}$ MidIR (Shortwave Infrared) □ B11 NIR (Near-Infrared Region) □ B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** 0 a 3+

18	NBR	***Normalized Burn Ratio*** Estimar la cantidad y desarrollo de áreas incendiadas $$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$ SWIR (Shortwave Infrared) □ B12 NIR (Near-Infrared Region) □ B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
19	NDMI	***Normalized Difference Moisture Index*** Determinar el contenido de agua de la vegetación $$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$ SWIR (Shortwave Infrared) □ B11 NIR (Near-Infrared Region) □ B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
20	NDWI	***Normalized Difference Water Index*** Identificar masas de agua y zonas de elevada humedad $$NDWI = \frac{NIR - Green}{NIR + Greem}$$ SWIR (Shortwave Infrared) □ B3 NIR (Near-Infrared Region) □ B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
21	NDVI	***Normalized Difference Vegetation Index*** Facilidad con la que el fuego se propaga en la vegetación $$NBR = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$ Red (Rojo, espectro visible) □ B4 NIR (Near-Infrared Region) □ B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
22	SAVI	***Soil Adjusted Vegetation Index*** Analizar la vegetación en etapas de crecimiento inicial o dispersa $$NBR = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L)$$ NIR (Near-Infrared Region) □ B8 R (Rojo, espectro visible) □ B4 Factor de correción de la luminosidad del suelo □ L		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1+
23	Moisture Index	***Normalized Difference Moisture Index*** Estimar el contenido de humedad de la vegetación $$Moisture = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$ SWIR (Shortwave Infrared) □ B11 NIR (Near-Infrared Region) □ B8A		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1+

Base de datos (puntos de ocurrencia y no ocurrencia) para los cantones de estudio



Cantón	Número puntos de NO ocurrencia	Número puntos ocurrencia
Quilanga	311	313
Catamayo	351	351
Gonzanama	427	432

Variables contenidas en la base de datos

Orientación del terreno

Elevación

Pendiente

Moisture Index

NDMI

MSI

NBR

ARVI

GNDVI

BSI

SAVI

NDVI

NDWI

Accesibilidad a Poblados

Accesibilidad a Zonas Antrópicas

Accesibilidad a Centro Económico

Accesibilidad a Áreas Protegidas

Accesibilidad a Vías

Distancia desde ríos

Distancia desde zonas antrópicas

Distancia desde áreas protegidas

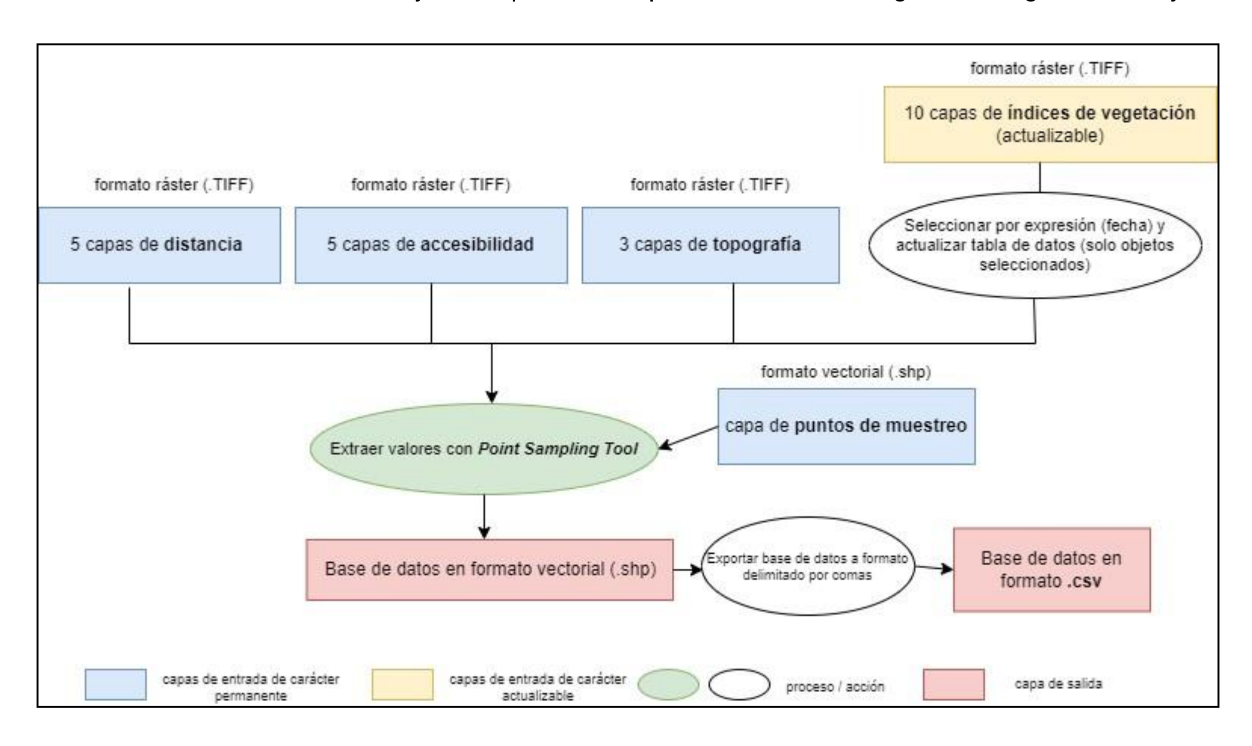
Distancia desde vías

Distancia desde centro económico

GENERACIÓN DE LAS BASES DE DATOS

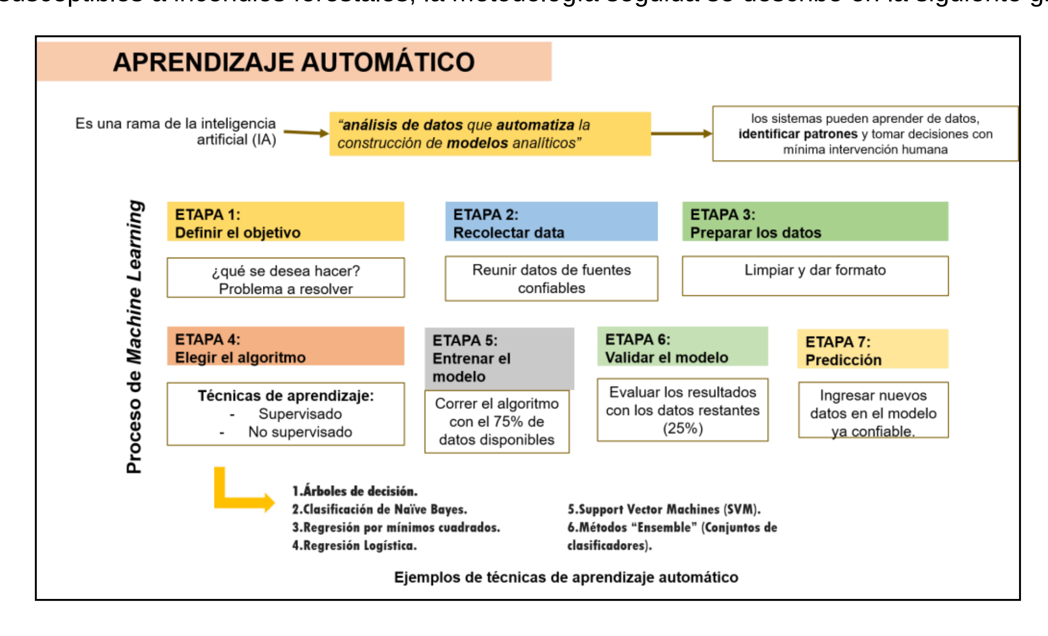
Una vez culminada la identificación y espacialización de las variables, se dio paso a la generación de las bases de datos. En este proceso se utiliza el software libre QGIS v.3.22. con su complemento ***Point Sampling Tool***, el que permite capturar valores de capas ráster o vectoriales que les corresponden a los puntos de muestreo (puntos de ocurrencia y no ocurrencia).

De las 23 variables contenidas en las bases de datos, 13 tienen un carácter permanente y 10 son actualizables (disponibilidad de imágenes Sentinel 2A cada 5 días), por lo que el tratamiento de estos datos es distinto. Para ilustrar mejor este proceso se puede consultar el siguiente diagrama de flujo:

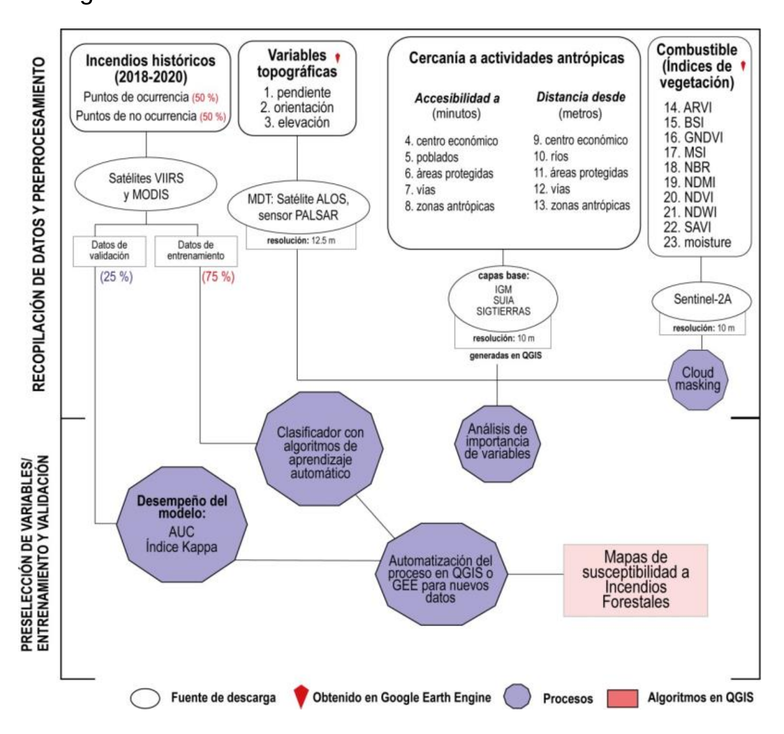


ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

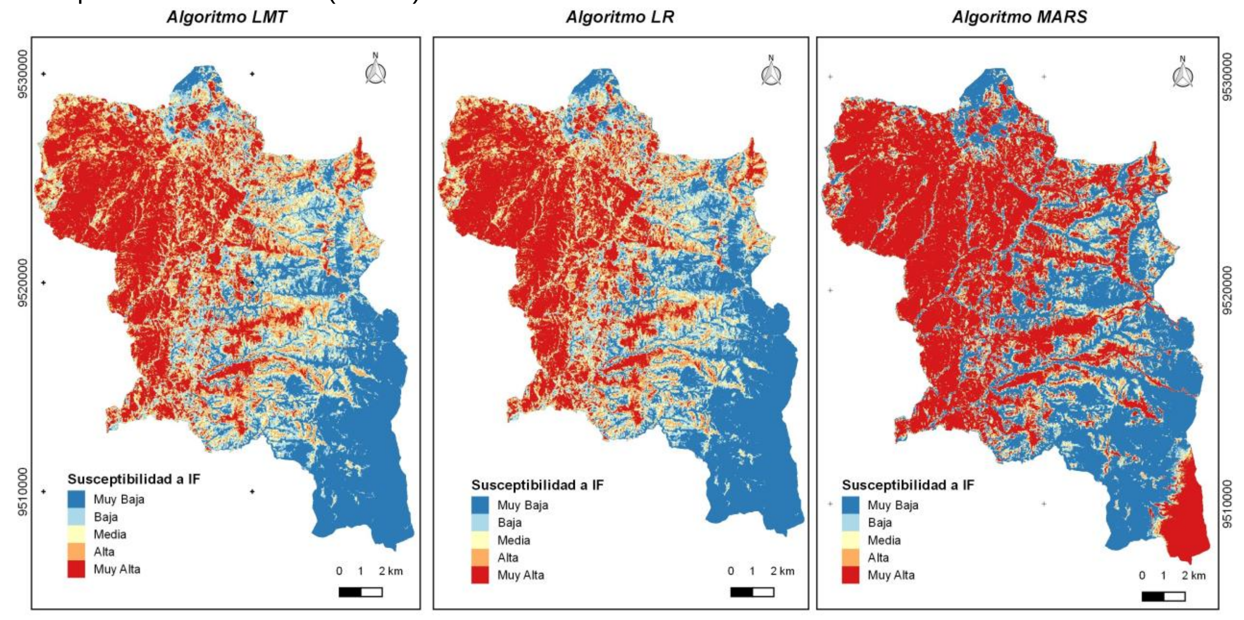
A partir de las bases de datos generadas en la actividad 2 se inicia el proceso de generación y validación de modelos de aprendizaje automático o machine learning, en este caso aplicados a la identificación de zonas susceptibles a incendios forestales, la metodología seguida se describe en la siguiente gráfica:



La generación de los modelos de susceptibilidad (uno para cada cantón) siguió el proceso que se explica en la siguiente figura:



Se realiza una partición de las bases de datos en dos grupos: 75% para entrenar el modelo y 25% para validarlo según su desempeño en las métricasde evaluación. Para cada cantón se probaron tres algoritmos: árboles de decisión logística (LMT), regresión logística (LR) y splines de regresión adaptativa multivariadas (MARS).



MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES GENERADOS PARA EL CANTÓN QUILANGA

Por último, en las ***etapas 6 y 7*** del proceso de aprendizaje automático se evalúan los resultados con los datos de validación (25% del conjunto de datos total) y, si las métricas son buenas, se procede a la predicción con nuevos datos.

Independientemente, de la técnica o algoritmo empleado, los modelos fueron evaluados con dos herramientas: el *Área Bajo la Curva (AUC)* y el *Coeficiente Kappa de Cohen.*

1.1.1. Área Bajo la Curva

La curva ROC (*Receiver Operating Characteristive*) permite evaluar la capacidad del modelo entrenado para clasificar información. Este mide la relación entre la sensibilidad o "tasa de verdaderos positivos" y la 1-especificidad o "tasa de falsos positivos" (Fórmula1 y 2).

$$Sensibilidad = \frac{VP}{(VP+FN)} \; ; \; VP = verdaderos\ positivos \quad FN = falsos\ negativos \qquad (1)$$

$$Especificidad = \frac{VN}{(FP+VN)} \; ; VN = verdaderos\ negativos \quad FP = falsos\ positivos \qquad (2)$$

Así, el área que se encuentre bajo esta curva representa el porcentaje de clasificaciones correctas. Generalmente, los valores superiores a 0.70 son considerados como buenos predictores[1]. El AUC para los modelos entrenados en cada cantón fue superior a 0.85.

1.1.2. Coeficiente Kappa de Cohen

El coeficiente Kappa o índice Kappa es un instrumento estadístico que estima la concordancia entre dos observadores o herramientas de medición para un mismo fenómeno, con el propósito de ajustar el efecto del azar en la proporción de la concordancia esperada, tal como establece la fórmula 3 [2].

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \; ; \qquad (3)$$

$$P_o = \text{proporción}\ de\ concordancia\ observada$$

$$P_e = proporción\ de\ concordancia\ esperada\ por\ el\ azar$$

Para evaluar la concordancia de variables categóricas, especialmente aquellas con salida dicotómica o binaria (como en el presente estudio), Landis y Koch proponen la interpretación cualitativa más conocida. En ella, los valores menores a 0.40 representan una concordancia pobre o débil; entre 0.41 a 0.6, moderada; entre 0.61 a 0.8, concordancia buena o significante y aquellos valores mayores a 0.80 tienen un nivel de conformidad casi perfecto.

En los modelos probados para estos cantones el valor del índice Kappa rodea el 0.82.

---

[1] Cerda, Jaime, & Cifuentes, Lorena. (2012). *Uso de curvas ROC en investigación clínica: Aspectos teórico-prácticos*. Revista chilena de infectología, 29(2), 138-141. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182012000200003

[2] Landa, F., Cruz, N., Coria, G., Rebolledo, G., & Hernández, S. (2014). *El Índice Kappa de Cohen como Herramienta para la Reducción de Ruido de Información Cerebral en la Identificación de Niveles de Valencia*. Puebla.

AUTOMATIZACIÓN DE LOS MODELOS EN LA PLATAFORMA DE GOOGLE EARTH ENGINE

El diseño y funcionamiento es el mismo para los seis cantones desarrollados en el proyecto, exceptuando las líneas de código que declaran y aplican el algoritmo de aprendizaje automático: en el caso de Catamayo y Espíndola el modelo utilizado corresponde a árboles de regresión logística (LMT: Logistic Regression Tree); mientras que, para Calvas, Gonzanamá, Loja y Quilanga son modelos basados en regresión con divisiones adaptativas multivariables (MARS: Multivariate Adaptive Regression Splines).

Para un mejor entendimiento del fundamento estadístico de los modelos LMT y MARS, recomendamos las siguientes lecturas:

- MARS: Multivariate Adaptive Regression Splines — How to Improve on Linear Regression? | by Saul Dobilas | Towards Data Science
- Chapter 7 Multivariate Adaptive Regression Splines | Hands-On Machine Learning with R (bradleyboehmke.github.io)
- Chapter 5 Logistic Regression | Hands-On Machine Learning with R (bradleyboehmke.github.io)

Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Espíndola

https://bit.ly/3pVXDRr

Líneas 4-10: declaración de variables permanentes (accesibilidad al centro económico, distancia desde ríos, distancia desde vías, distancia desde zonas antrópicas, elevación, límite cantonal, límites parroquiales)

```
var access_cen = ee.Image("users/incendiosloja/espindola/access_cen_"); var B1 = access_cen;
var dist_rios_km = ee.Image("users/incendiosloja/espindola/dist_rios_km"); var B2 = dist_rios_km;
var dist_vias_km = ee.Image("users/incendiosloja/espindola/dist_vias_km"); var B3 = dist_vias_km;
var dist_ZA_km = ee.Image("users/incendiosloja/espindola/dist_ZA_km"); var B4 = dist_ZA_km;
var elevacion_km = ee.Image("users/incendiosloja/espindola/elevacion_km"); var B8 = elevacion_km;
var region =ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/espindola/espindola_").geometry();////límite
cantonal///
var parroquias = ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/espindola/parroquiasespindola");
```

Líneas 11-12: llamado a la colección de focos de calor de FIRMS NASA y determinación de los parámetros de visualización.

```
var firesVis = {min: 325.0,   max: 400.0, palette: ['orange', 'yellow', 'red'],};
var dataset = ee.ImageCollection('FIRMS');
```

Líneas 28-33: creación de líneas divisorias del panel de control.

```
c.dividers = {};
c.dividers.divider1 = ui.Panel();
c.dividers.divider2 = ui.Panel();
c.dividers.divider3 = ui.Panel();
c.dividers.divider4 = ui.Panel();
c.dividers.divider5 = ui.Panel();
```

Líneas 14-25: configuración de estilo (tamaño y color de letra) del panel de nubes y descarga.

```
var c = {};
c.controlPanel = ui.Panel();
c.descargaPanel = ui.Panel ({ style: {position: 'bottom-right', padding: '6px 6px'}});
c.nubesPanel = ui.Panel ({ style: {stretch: 'horizontal', position: 'bottom-right', margin: '4px 4px 4px
4px', padding: '4px 4px 4px 4px',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0.6)'}});

c.nubesPanel.Title = ui.Label({ style: {fontSize: '13px', margin: '2px 2px 2px 2px', padding: '0', stretch:
'horizontal',textAlign: 'center',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});
c.nubesPanel.subTitle = ui.Label({ style: {fontWeight: 'bold',fontSize: '13px', margin: '2px 2px 2px 2px',
padding: '0' , stretch: 'horizontal', textAlign: 'center',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});
c.nubesPanel.subTitle2 = ui.Label({ style: {fontWeight: 'bold',fontSize: '13px', margin: '2px 2px 2px
2px', padding: '0' , stretch: 'horizontal', textAlign: 'center',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});

c.descargaPanel.Title = ui.Label({ style: {color: 'blue',fontWeight: 'bold', fontSize: '13px', margin: '2px
2px 2px 2px', stretch: 'horizontal',textAlign: 'center', padding: '0',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255,
0)' }});
c.descargaPanel.subTitle = ui.Label({ style: {fontWeight: 'bold',fontSize: '13px', margin: '2px 2px 2px
2px', padding: '0' , stretch: 'horizontal', textAlign: 'center',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});
c.descargaPanel.subTitle2 = ui.Label({ style: {fontWeight: 'bold',fontSize: '13px', margin: '2px 2px 2px
2px', padding: '0' , stretch: 'horizontal', textAlign: 'center',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});
```

Líneas 214-215: llamado a la colección Sentinel-2

```
var s2Sr = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR');
var s2Clouds = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY');
```

Líneas 244-249 / 475-487: limpieza de la interfaz gráfica e incorporación de los paneles en el mapa.

```
var nubesPanel =
c.nubesPanel.add(c.nubesPanel.Title).add(c.nubesPanel.subTitle).add(c.nubesPanel.subTitle2).add(c.
descargaPanel.Title);
c.map.add(nubesPanel);

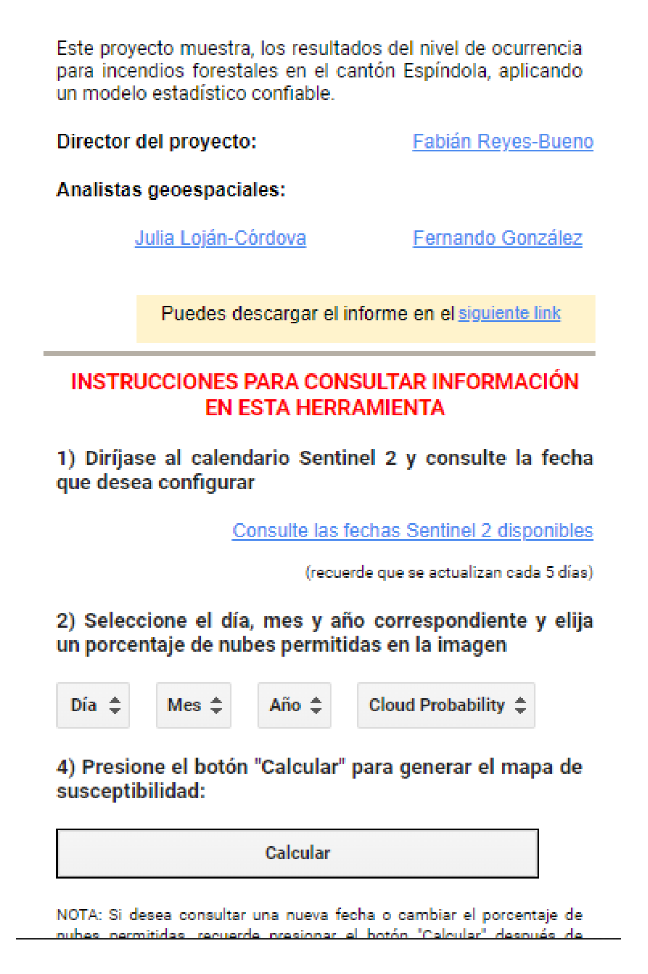
ui.root.clear();
ui.root.add(c.controlPanel);
ui.root.add(c.map);

c.controlPanel.add(c.info.panel).add(c.directorpanel).add(c.analistapanel).add(c.analistapanel2)
.add(c.info. websitepanel).add(c.dividers.divider2).add(c.datePanel).add(c.calendarioPanel)
.add(c.datePanel3).add(c.selectaDate.aboutLabel6).add(boton).add(c.selectaDate.aboutLabel7)
.add(c.dividers.divider3).add(c.selectaDate.aboutLabel8);
c.map.add(legend);

c.map.centerObject(region);
c.map.setOptions('ROADMAP');

c.nubesPanel.Title.setValue('Porcentaje de nubes en la imagen S2');
c.nubesPanel.subTitle.setValue('Fecha de la imagen S2');
c.nubesPanel.subTitle2.setValue('Permisividad de nubes');
c.descargaPanel.Title.setValue('Link de descarga');
```

Líneas 35-212 / 252-322: configuración y aplicación de parámetros de estilo (tamaño, margen, color) en el panel de control (izquierda)



Líneas 324-326 / 460-473: creación y activación del botón “Calcular” que da inicio a todo el visor.

Calcular

```
var boton = ui.Button({
  label: 'Calcular',
  onClick: function updateMap(){
…

c.selectaDate.selector.onChange(updateMap);
c.selectaDate2.selector.onChange(updateMap);
c.selectaDate3.selector.onChange(updateMap);
c.permisividadnubes.selector2.onChange(updateMap);

c.selectaDate.selector.unlisten();
c.selectaDate2.selector.unlisten();
c.selectaDate3.selector.unlisten();
c.permisividadnubes.selector2.unlisten();}


  });
boton.style().set({ width: '300px', border:'1px outset black'  });
```

Líneas 217-241: configuración del mapa, leyenda y título.

```
var mapPanel = ui.Panel([

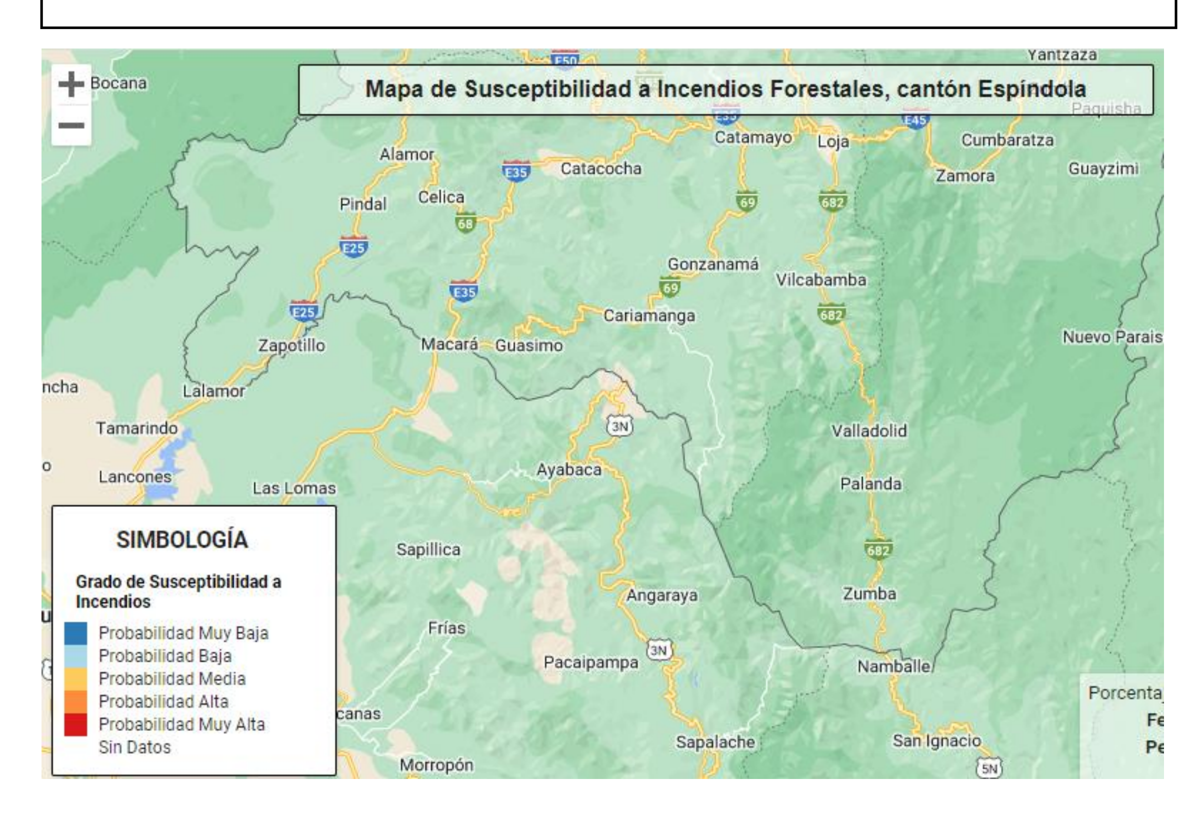
      ui.Panel([c.map], null, {stretch: 'both'})   ],

    ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'), {stretch: 'both'});

var legend = ui.Panel([],ui.Panel.Layout.Flow('vertical'), {position: 'bottom-left', margin: '0px 0px 8px 0px', height: '190px', width: '200px', textAlign: 'left', backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 1)', border: '1px solid black'});
c.datePanel = ui.Panel([c.selectaDate.aboutLabel],ui.Panel.Layout.Flow('vertical'),{width: '350px'});
var legendTitle = ui.Label({ value: 'Grado de Susceptibilidad a Incendios',
  style: {height: '35px', width: '160px',color: 'black', stretch: 'horizontal', fontWeight: 'bold', fontSize: '12px', margin: '0px 0px 4px 8px', padding: '0px' ,backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});

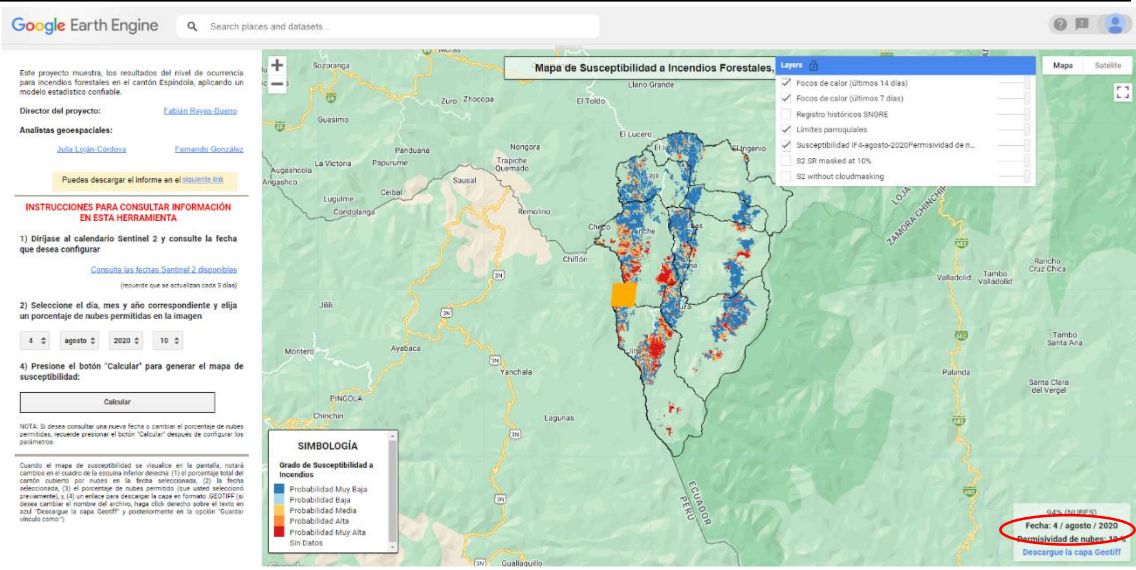
var leyendaTitle = ui.Label({ value: 'SIMBOLOGÍA',
  style: {height: '30px', width: '165px',textAlign: 'center',stretch: 'horizontal',fontWeight: 'bold', fontSize: '15.5px', margin: '0px 0px 4px 0px', padding: '2px 2px 2px 2px' ,backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'}});
legend.add(leyendaTitle).add(legendTitle);

 var makeRow = function(color, name) {var colorBox = ui.Label({style: {backgroundColor:'#' + color,padding: '8px', margin: '0px'}});
      var description = ui.Label({value: name, style: {width: '140px',fontSize: '12px', margin: '1px 1px 1px 8px',backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0.6)'}});
       return ui.Panel({  widgets: [colorBox, description],layout: ui.Panel.Layout.Flow('horizontal') })};
var palette =['2c7bb6', 'abd9e9','fecc5c','fd8d3c','d7191c','ffffffff'];
var names = ['Probabilidad Muy Baja','Probabilidad Baja','Probabilidad Media', 'Probabilidad Alta','Probabilidad Muy Alta', 'Sin Datos'];
for (var i = 0; i < 6; i++) {  legend.add(makeRow(palette[i], names[i]));  } //c.map.add(legend);
var TituloMapa = ui.Label({ value: 'Mapa de Susceptibilidad a Incendios Forestales, cantón Espíndola',
  style: {position: 'top-center', fontWeight: 'bold', fontSize: '16px', border: '0.5px solid black',
  backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0.6)',
  fontFamily: 'arial', width: '600px', TextAlign:'center'}}); c.map.add(TituloMapa);
```



Líneas 327-338: obtención de la fecha y permisividad de nubes seleccionada para su transformación a texto previo a la inclusión en el panel de nubes y descarga (esquina inferior derecha).

```
var dia = c.selectaDate.selector.getValue() ;
var dia2 = ee.Number.parse(dia);
var mes = c.selectaDate2.selector.getValue();
var mes2 = mes.replace('enero','1').replace('febrero',
'2').replace('marzo','3').replace('abril','4').replace('mayo','5').replace('junio','6')
.replace('julio','7').replace('agosto','8').replace('septiembre','9').replace('octubre','10').replace('noviembr
e', '11').replace('diciembre','12');
var mes3 = ee.Number.parse(mes2);
var año = c.selectaDate3.selector.getValue();
var año2 = ee.Number.parse(año);
var  MAX_CLOUD_PROBABILITY = c.permisividadnubes.selector2.getValue();
var perminubes = ee.Number.parse(MAX_CLOUD_PROBABILITY);
var START_DATE = ee.Date.fromYMD(año2, mes3, dia2);
var END_DATE = START_DATE.advance ( 1, 'day'); var dia = c.selectaDate.selector.getValue() ;
var dia2 = ee.Number.parse(dia);
var mes = c.selectaDate2.selector.getValue();
var mes2 = mes.replace('enero','1').replace('febrero',
'2').replace('marzo','3').replace('abril','4').replace('mayo','5').replace('junio','6')
.replace('julio','7').replace('agosto','8').replace('septiembre','9').replace('octubre','10').replace('noviembr
e', '11').replace('diciembre','12');
var mes3 = ee.Number.parse(mes2);
var año = c.selectaDate3.selector.getValue();
var año2 = ee.Number.parse(año);
var  MAX_CLOUD_PROBABILITY = c.permisividadnubes.selector2.getValue();
var perminubes = ee.Number.parse(MAX_CLOUD_PROBABILITY);
var START_DATE = ee.Date.fromYMD(año2, mes3, dia2);
var END_DATE = START_DATE.advance ( 1, 'day'); var dia = c.selectaDate.selector.getValue() ;
var dia2 = ee.Number.parse(dia);
var mes = c.selectaDate2.selector.getValue();
var mes2 = mes.replace('enero','1').replace('febrero',
'2').replace('marzo','3').replace('abril','4').replace('mayo','5').replace('junio','6')
.replace('julio','7').replace('agosto','8').replace('septiembre','9').replace('octubre','10').replace('noviembr
e', '11').replace('diciembre','12');
var mes3 = ee.Number.parse(mes2);
var año = c.selectaDate3.selector.getValue();
var año2 = ee.Number.parse(año);
var  MAX_CLOUD_PROBABILITY = c.permisividadnubes.selector2.getValue();
var perminubes = ee.Number.parse(MAX_CLOUD_PROBABILITY);
var START_DATE = ee.Date.fromYMD(año2, mes3, dia2);
var END_DATE = START_DATE.advance ( 1, 'day');
```



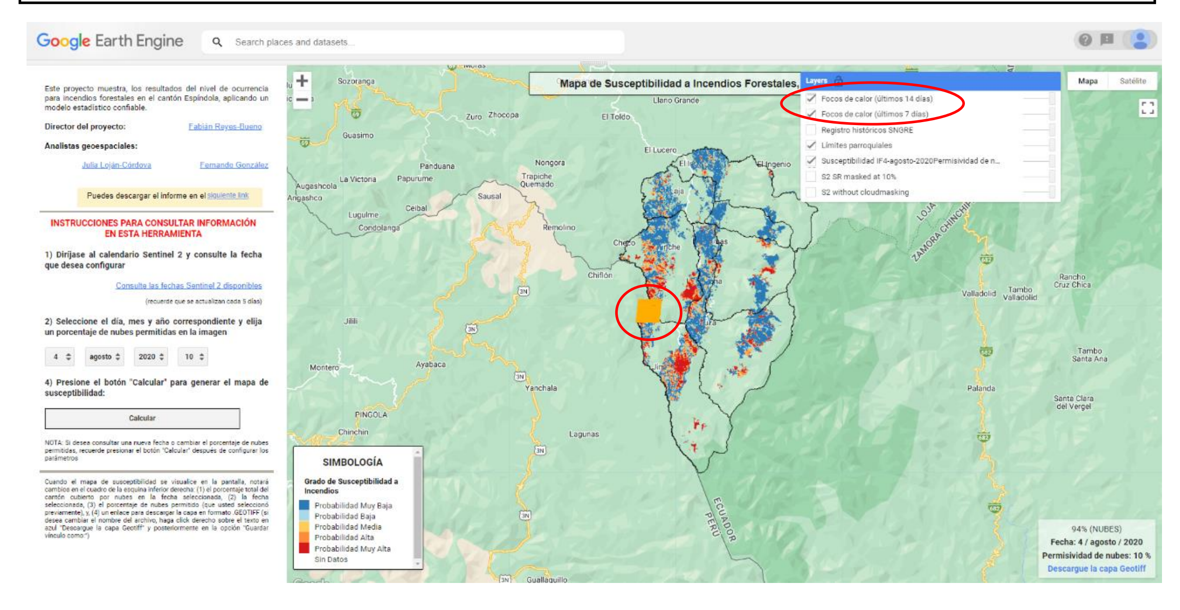
Líneas 340-355 / 424-428 : configuración de fechas para la visualización de focos de calor en los últimos 7 días y los últimos 14 días.

```
function focosdecalor1(){
var fecha1_FC = START_DATE.advance(1, 'day');
var fecha2_FC = START_DATE.advance(-7,'day');
var dataset = ee.ImageCollection('FIRMS').filter(ee.Filter.date(fecha2_FC, fecha1_FC));
var fires = dataset.select('T21');
return fires}
var fires = focosdecalor1();

function focosdecalor3(){
var fecha4_FC = START_DATE.advance(-12,'day');
var fecha1_FC = START_DATE.advance(1, 'day');
var dataset3 = ee.ImageCollection('FIRMS').filter(
   ee.Filter.date(fecha4_FC, fecha1_FC));
var fires3 = dataset3.select('T21');
return fires3}
var fires3 = focosdecalor3();

  var layer_7 = ui.Map.Layer(fires, firesVis, 'Focos de calor (últimos 7 días)',false);
  c.map.layers().set(5,layer_7);

  var layer_8 = ui.Map.Layer(fires3, firesVis, 'Focos de calor (últimos 14 días)',false);
  c.map.layers().set(6,layer_8);
```

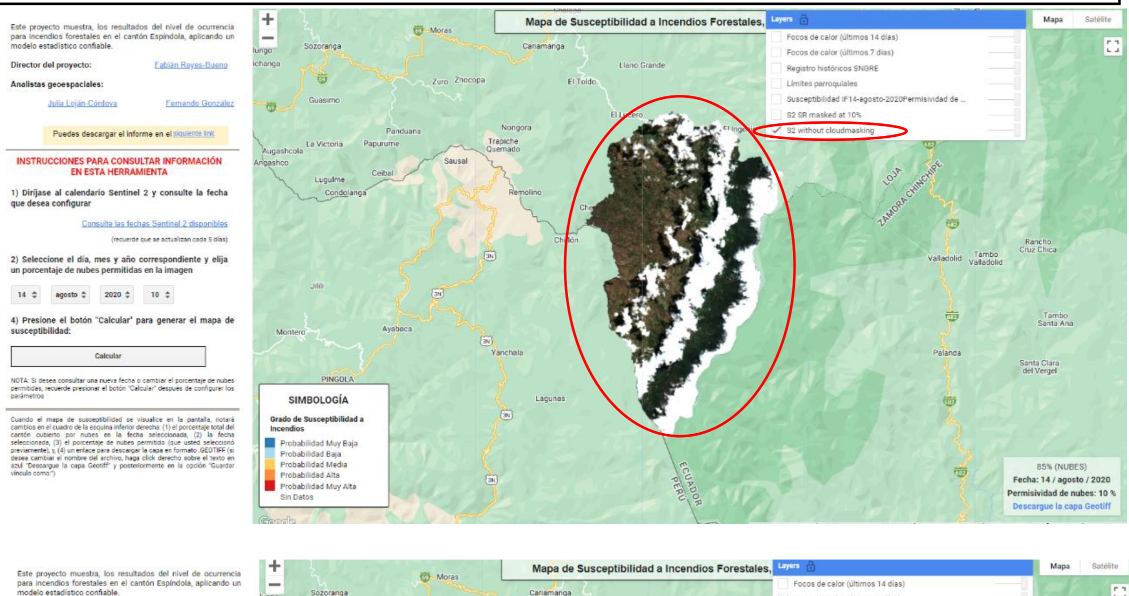


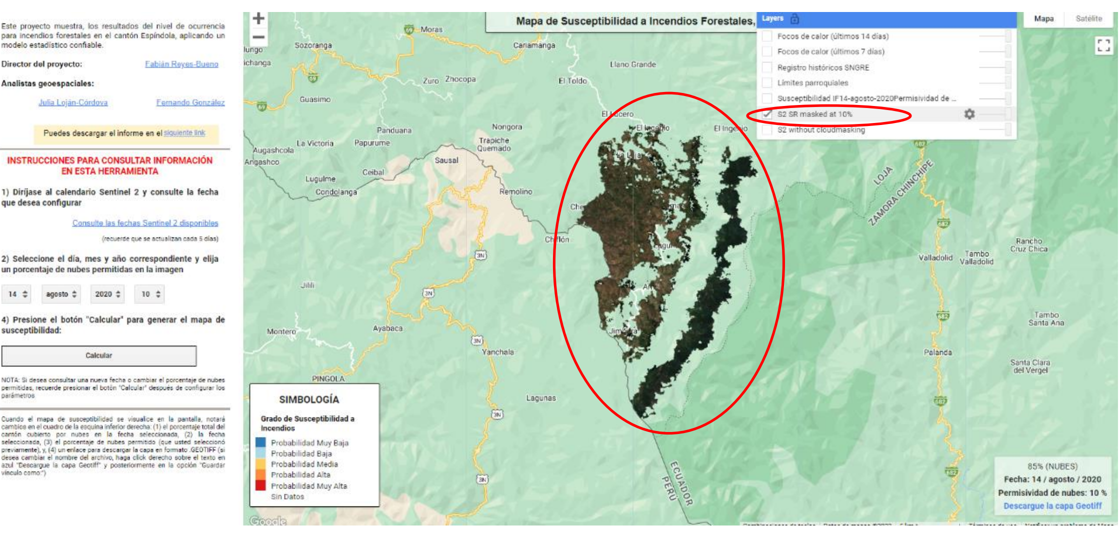
Líneas 444-451: generación del enlace de descarga para descargar la capa de susceptibilidad a incendios forestales.

```
var URLDescarga = Reclasi_final_LMT.getDownloadURL( {
  name: 'Susceptibilidad a Incendios Forestales',
  scale: 35,
  crs:'EPSG:32717',
  region: region,
  filePerBand: false,
  format: "GEO_TIFF",
});
```

Líneas 357-373 : aplicación de filtros (región y fecha) a la colección de Sentinel-2; enmascaramiento o “recorte” de nubes y visualización en el mapa.

```
function maskClouds (img) {var clouds = ee.Image(img.get('cloud_mask')).select('probability');  var
isNotCloud = clouds.lt(perminubes);  return img.updateMask(isNotCloud);}
function maskEdges(s2_img) {return s2_img.updateMask(
s2_img.select('B8A').mask().updateMask(s2_img.select('B9').mask()));}
var criteria = ee.Filter.and(ee.Filter.bounds(region), ee.Filter.date(START_DATE, END_DATE));
var s2S = s2Sr.filter(criteria).map(maskEdges);
var s2Cloud = s2Clouds.filter(criteria);
var s2SrWithCloudMask = ee.Join.saveFirst('cloud_mask').apply({ primary: s2S,  secondary: s2Cloud,
condition: ee.Filter.equals({leftField: 'system:index', rightField: 'system:index'})});
var s2 =  ee.ImageCollection(s2S).median().clip(region);
var s2CloudMasked =
ee.ImageCollection(s2SrWithCloudMask).map(maskClouds).median().clip(region);
var mask_S2 = s2CloudMasked.select('B3');
var unmask_S2 = s2.select('B3');
var rgbVis = {min: 0, max: 3000, bands: ['B4', 'B3', 'B2']};
var layer1 = ui.Map.Layer(
    s2, rgbVis, 'S2 without cloudmasking',      false);
  c.map.layers().set(0, layer1);
var layer2 = ui.Map.Layer(
    s2CloudMasked, rgbVis, 'S2 SR masked at ' + MAX_CLOUD_PROBABILITY + '%', false);
  c.map.layers().set(1, layer2);
```





Líneas 375-384 : generación de los índices espectrales de vegetación BSI, Moisture y NDVI; transformación de las variables a utilizar como “bandas”; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de la ecuación de Logistic Model Tree (para el caso de Espíndola tiene una sola hoja, por lo que se aplica una ecuación a todos los datos).

```
function LMT_Espindola (){
 var BSI = s2CloudMasked.expression ('float(((Red+SWIR)-(NIR+Blue))/((Red+SWIR)+(NIR+Blue)))',
{'Red':s2CloudMasked.select('B11'), 'NIR': s2CloudMasked.select('B8'),
'SWIR': s2CloudMasked.select('B4'), 'Blue': s2CloudMasked.select('B2')}); var B5 = BSI;
var Moisture = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']); var B7 = Moisture;
var NDVI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8', 'B4']); var B6 = NDVI;
var bandas =
B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).addBands(B5).addBands(B6).addBands(B7).addBand
s(B8).rename('B1','B2','B3','B4','B5','B6','B7','B8');
var Logit_LMT = bandas.expression(
    'float(-3.92720 + (0.02351*B1) + (-3.56308 * B2) + (3.86546 * B3)+ (-3.12801 * B4)+ (-25.92952 *
B5)+ (-6.64139 * B6)+ (-38.61783 * B7)+ (4.48976 * B8)) ',
    {'B1': bandas.select('B1'), 'B2': bandas.select('B2'),'B3': bandas.select('B3'),'B4': bandas.select('B4'),
'B5': bandas.select('B5'),'B6': bandas.select('B6'),'B7': bandas.select('B7'),'B8': bandas.select('B8')});
```

$$\boldsymbol{Logit} = -3.92720 + (B1 * 0.02351) + (B2 * -3.56308) + (B3 * 3.86546) + (B4 * -3.12801) + (B5 * -25.92952) + (B6 * -6.64139) + (B7 * -38.61783) + (B8 * 4.48976)$$

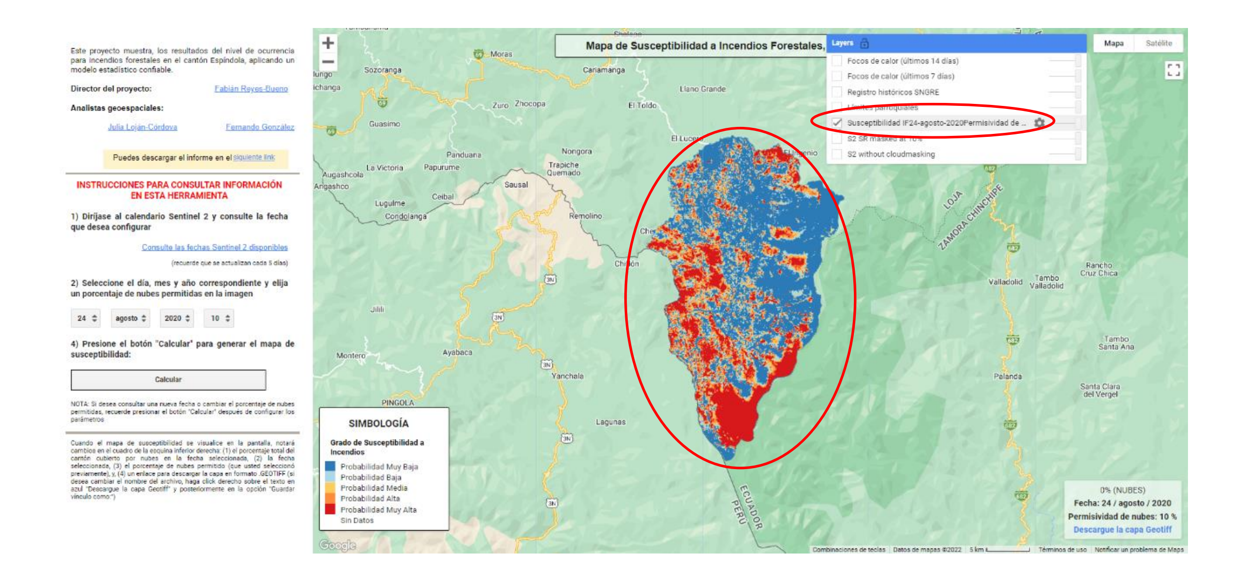
B1 = accesibilidad al centro económico (min)
B2 = distancia desde ríos (m)
B3 = distancia desde vías (m)
B4 = distancia desde zonas antrópicas (m)
B5 = índice BSI
B6 = índice NDVI
B7 = índice Moisture
B8 = elevación (km.s.n.m)

Líneas 385-400: transformación del resultado en cada celda o píxel después de aplicada la ecuación LMT a términos de probabilidad (0 a 1); reclasificación en categorías (0 – 0.2: muy baja; 0.2-0.4: baja; 0.4-0.6: media; 0.6-0.8: alta; 0.8 a 1: muy alta); aplicación de un filtro de generalización, configuración de parámetros (colores para cada categoría, siendo rojo muy alta y azul muy baja) y visualización en el mapa.

```
var Probabilidad_LMT = bandas.expression(
    '((1)/(1+(2.71828182845904 **(Logit * -1))))',
    {'Logit': Logit_LMT});
var Reclasificado_LMT =
ee.Image(1).where(Probabilidad_LMT.lte(0.2),1).where(Probabilidad_LMT.gt(0.2).and(Probabilidad_L
MT.lte(0.4)),2)

.where(Probabilidad_LMT.gt(0.4).and(Probabilidad_LMT.lte(0.6)),3).where(Probabilidad_LMT.gt(0.6).a
nd(Probabilidad_LMT.lte(0.8)),4).where(Probabilidad_LMT.gt(0.8),5);
var Reclas_LMT = Reclasificado_LMT.toDouble().updateMask(mask_S2);
var generalizad_LMT = Reclas_LMT.reduceNeighborhood({
  reducer: ee.Reducer.mode(),   kernel: ee.Kernel.square({radius: 0.5,  units: 'pixels', normalize:
false})});
var generalizado_LMT = generalizad_LMT.toInt().clip(region);
return generalizado_LMT ; }

var Reclasi_final_LMT = LMT_Espindola ();
var paleta = {    max: 5, min: 1,   'palette': ['2c7bb6', 'abd9e9','fecc5c','fd8d3c','d7191c']};
var layer3 = ui.Map.Layer(
    Reclasi_final_LMT, paleta, 'Susceptibilidad IF' + dia + '-'+ mes + '-'+ año +'Permisividad de nubes:
'+MAX_CLOUD_PROBABILITY+ ' %', true);
  c.map.layers().set(2, layer3);
```

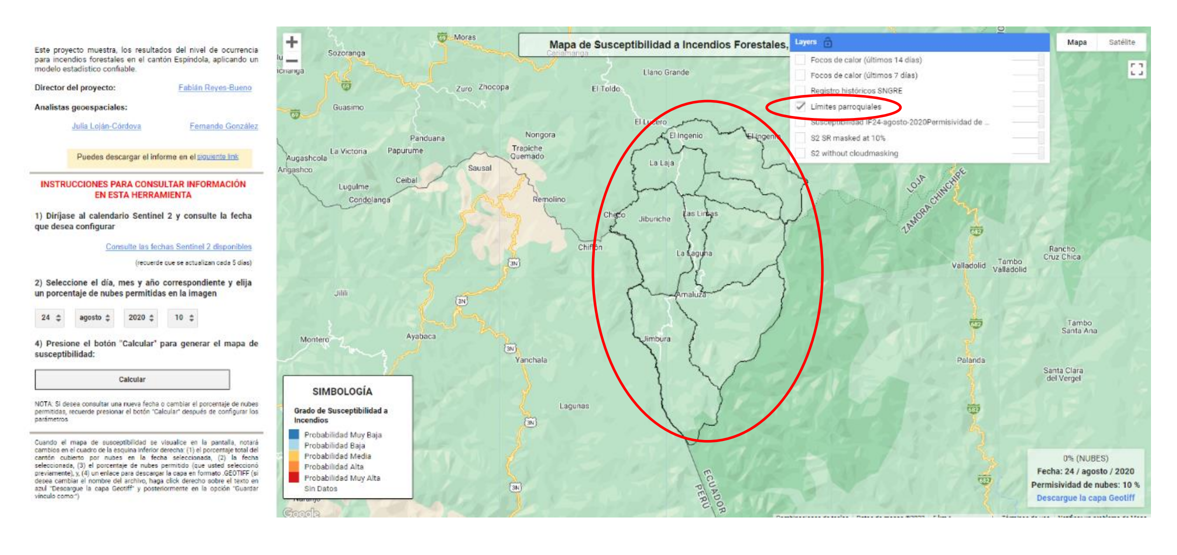


Líneas 402-410: configuración de parámetros de visualización para la capa de límites parroquiales y adición al mapa.

```
var empty = ee.Image().byte();

var outline = empty.paint({
  featureCollection: parroquias,
  color: 1,   width: 1 });

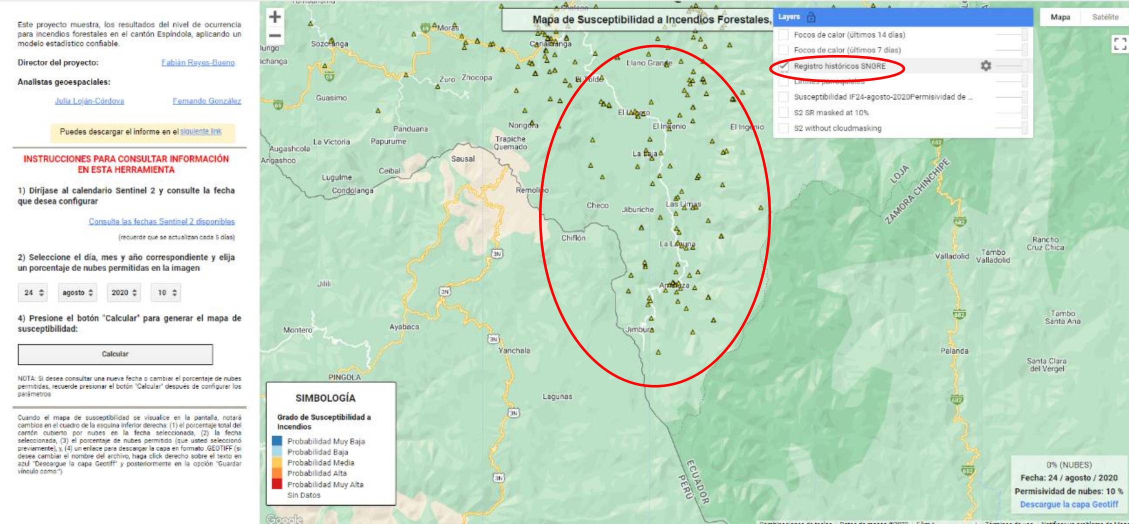
var layer4 = ui.Map.Layer(
    outline,{palette: '000000'},'Límites parroquiales', true);
  c.map.layers().set(3, layer4);
```



Líneas 412-419: configuración de parámetros de visualización para la capa de registros históricos de incendios forestales del SNGRE y adición al mapa.

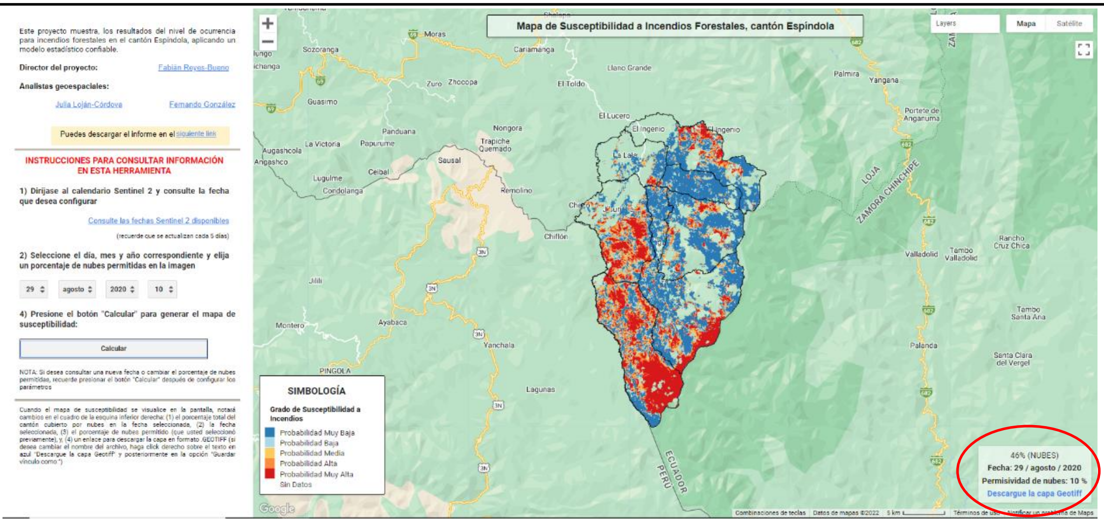
```
var registrosIF = ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/Eventos_2010_2021_inf");
var style = registrosIF.style({
  color:'black', width: 1, pointSize: 4, pointShape: 'triangle', fillColor: 'yellow'
});

  var layer5 = ui.Map.Layer(
    style,null,'Registro históricos SNGRE', false);
  c.map.layers().set(4, layer5);
```



Líneas 431-442: cálculo del porcentaje de cantón cubierto por nubes en la imagen Sentinel-2 correspondiente a la fecha consultada.

```
var getnonube = ee.Number(mask_S2.multiply(ee.Image.pixelArea())
.reduceRegion(ee.Reducer.sum(),region,10,null,null,false,1e13).get('B3'));
     var getnonubes = ee.Number(getnonube).divide(1e7)   ;
var gettota = ee.Number(unmask_S2.multiply(ee.Image.pixelArea())
                .reduceRegion(ee.Reducer.sum(),region,10,null,null,false,1e13).get('B3'));
     var gettotal = ee.Number(gettota).divide(1e7)   ;
var total = ee.Number(65317.443);
var getnubes = gettotal.subtract(getnonubes);
var porcentajeNubes = ((getnubes.multiply(100)).divide(gettotal)).int().getInfo();
```



Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Calvas

https://bit.ly/3dHK1pL

Líneas 454-486: generación de los índices espectrales de vegetación BSI y Moisture; transformación de las variables a utilizar como "bandas"; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de las ecuaciones diferenciales para cada coeficiente en el modelo MARS (para el caso de Calvas hay 6 coeficientes que dividen los datos para su aplicación).

```
function MARS_Calvas (){
  var BSI = s2CloudMasked.expression ('float(((Red+SWIR)-(NIR+Blue))/((Red+SWIR)+(NIR+Blue)))',
{'Red': s2CloudMasked.select('B11'), 'NIR': s2CloudMasked.select('B8'),
'SWIR': s2CloudMasked.select('B4'), 'Blue': s2CloudMasked.select('B2')});
var B1 = BSI;

var Moisture = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']);  var B2 = Moisture;
var bandas = B1.addBands(B2).rename('B1','B2');

var Coef_1 = bandas.expression('float(max(0,(B2-(0.20955)))*2424.5)', {'B2': bandas.select('B2')});
var Coef_2 = bandas.expression('float(max(0,(B2-(0.07614)))*-658.2)', {'B2': bandas.select('B2')});
var Coef_3 = bandas.expression('float(max(0,(B1-(-0.03922))*-87))', {'B1': bandas.select('B1')});
var Coef_4 = bandas.expression('float(max(0,(B2-(0.11968)))*896.1)', {'B2': bandas.select('B2')});
var Coef_5 = bandas.expression('float(max(0,(B2-(0.17956)))*-2448.1)', {'B2': bandas.select('B2')});
var Coef_6 = bandas.expression('float(max(0,(B1-(0.03597)))*237.2)', {'B1': bandas.select('B1')});

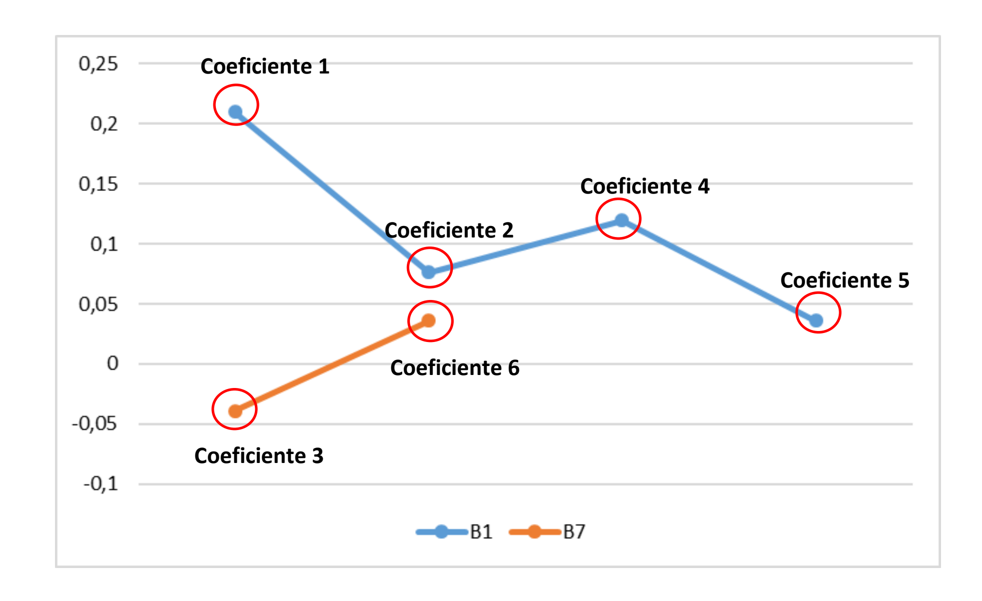
var C0 = 14.1;
var C1= ee.Image(1).where(B2.gt(0.20955),Coef_1).where(B2.lte(0.20955),0);
var C2= ee.Image(1).where(B2.gt(0.07614),Coef_2).where(B2.lte(0.07614),0);
var C3 = ee.Image(1).where(B1.gt(-0.03922),Coef_3).where(B1.lte(-0.03922),0);
var C4 = ee.Image(1).where(B2.gt(0.11968),Coef_4).where(B2.lte(0.11968),0);
var C5= ee.Image(1).where(B2.gt(0.17956), Coef_5).where(B2.lte(0.17956), 0);
var C6 = ee.Image(1).where(B1.gt(0.03597),Coef_6).where(B1.lte(0.03597),0);

var Coef = bandas.expression('C0+C1+C2+C3+C4+C5+C6',
  {'C0': C0, 'C1': C1, 'C2': C2, 'C3': C3,'C4': C4, 'C5': C5,'C6':C6});
```

$\boldsymbol{Hinge\ function\ o\ funci\acute{o}n\ bisagra\ para\ el\ Coeficiente\ 1}$:

$\boldsymbol{Coef_1} = \left(\max\left(0, (B2 - (0.20955))\right) * 2424.5\right)$, siendo **B2 =** índice Moisture

Se aplica para casos en que el índice Moisture (B2) es mayor a 0.020955; en caso contrario se asigna 0.



Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Loja

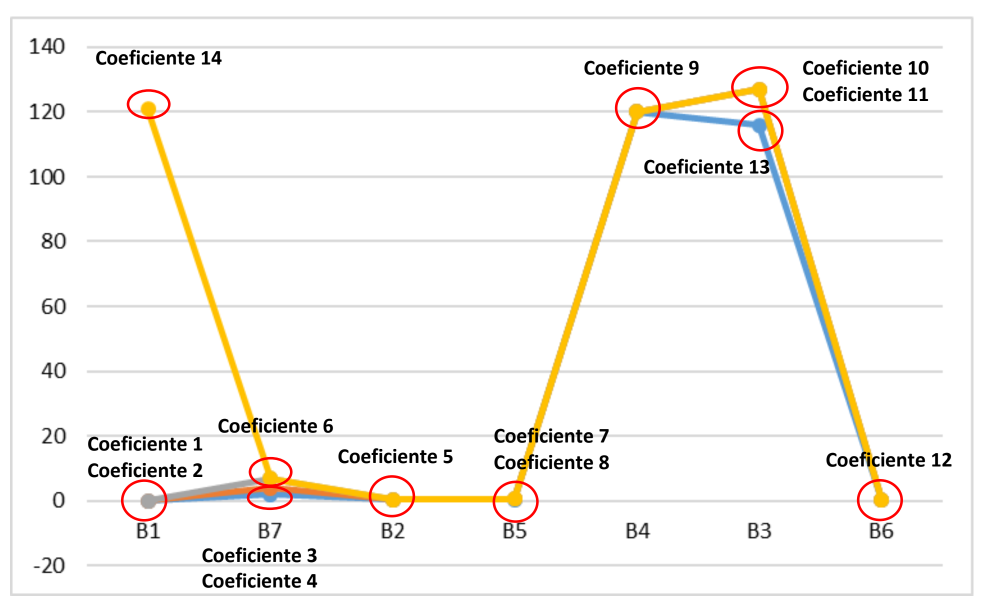
https://bit.ly/3R5B3B4

Líneas 450-472: generación de los índices espectrales de vegetación BSI y Moisture; transformación de las variables a utilizar como "bandas"; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de las ecuaciones diferenciales para cada coeficiente en el modelo MARS (para el caso de Loja hay 14 coeficientes que dividen los datos para su aplicación).

$$\textit{\textbf{Hinge function o función bisagra para el Coeficiente 1}}:$$

$$\boldsymbol{Coef_1} = \left(\max\left(0, \left(B1 - (-0.0139)\right)\right) * -127\right)$$, siendo **B1 =** índice NDMI

Se aplica para casos en que el índice NDMI (B1) es mayor a -0.0139; en caso contrario se asigna 0.




```
function MARS_Loja (){ var NDMI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']); var B1 = NDMI;
var NDVI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8', 'B4']); var B2 = NDVI; var bandas =
B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).addBands(B5).addBands(B6).addBands(B7).addBands(B8).rename('B1','B2','B3','B4','B
5','B6','B7','B8');
var Coef_1 = bandas.expression('float(max(0,(B1-(-0.0139)))*-127)', {'B1': bandas.select('B1')}); var Coef_2 =
bandas.expression('float(max(((-0.0139)-B1),0)* 82)', {'B1': bandas.select('B1')});
var Coef_3 = bandas.expression('float(max(0,(B7-1.975))*-3.81)', {'B7': bandas.select('B7')}); var Coef_4 =
bandas.expression('float(max((1.975-B7),0)*-4.99)', {'B7': bandas.select('B7')});
var Coef_5 = bandas.expression('float(max(0,(B2-0.3865))*-7.38)', {'B2': bandas.select('B2')}); var Coef_6 =
bandas.expression('float(max(0,(B7-2.904))*8.02)', {'B7': bandas.select('B7')});
var Coef_7 = bandas.expression('float(max(0,(B5-0.303))*0.585)', {'B5': bandas.select('B5')}); var Coef_8 =
bandas.expression('float(max((0.303-B5),0)*3.54)', {'B5': bandas.select('B5')});
var Coef_9 = bandas.expression('float(max((120-B4),0)*0.0485)', {'B4': bandas.select('B4')}); var Coef_10 =
bandas.expression('float(max(0,(B3-(116))*-0.653)', {'B3': bandas.select('B3')});
var Coef_11 = bandas.expression('float(max(0,(116-B3))*0.619)', {'B3':bandas.select('B3')}); var Coef_12 =
bandas.expression('float(max(0, (0.1662-B6))*-6.95)', {'B6': bandas.select('B6')});
var Coef_13 = bandas.expression('float(max(0,(B3-11))*0.648)', {'B3': bandas.select('B3')}); var Coef_14 =
bandas.expression('float(max(0,(B1-(-0.0751))*121))', {'B1': bandas.select('B1')});
var C0 = -76.10; var C1= ee.Image(1).where(B1.gt(-0.0139),Coef_1).where(B1.lte(-0.0139),0); var C2= ee.Image(1).where(B1.lte(-
0.0139),Coef_2).where(B1.gt(-0.0139),0);
var C3 = ee.Image(1).where(B7.gt(1.975),Coef_3).where(B7.lte(1.975),0); var C4 =
ee.Image(1).where(B7.lte(1.975),Coef_4).where(B7.gt(1.975),0);
var C5= ee.Image(1).where(B2.gt(0.3865), Coef_5).where(B2.lte(0.3865), 0); var C6 =
ee.Image(1).where(B7.gt(2.904),Coef_6).where(B7.lte(2.904),0);
var C7 = ee.Image(1).where(B5.gt(0.303),Coef_7).where(B5.lte(0.303),0); var C8 =
ee.Image(1).where(B5.lte(0.303),Coef_8).where(B5.gt(0.303),0);
var C9 = ee.Image(1).where(B4.lte(120),Coef_9).where(B4.gt(120),0); var C10 =
ee.Image(1).where(B3.gt(116),Coef_10).where(B3.lte(116),0);
var C11 = ee.Image(1).where(B3.lte(116),Coef_11).where(B3.gt(116),0); var C12 =
ee.Image(1).where(B6.lte(0.1662),Coef_12).where(B6.gt(0.1662),0);
var C13 = ee.Image(1).where(B3.gt(11),Coef_13).where(B3.lte(11),0); var C14 = ee.Image(1).where(B1.gt(-
0.0751),Coef_14).where(B1.lte(-0.0751),0); var Coef =
bandas.expression('C0+C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+C12+C13+C14',
   {'C0': C0, 'C1': C1, 'C2': C2, 'C3': C3,'C4': C4, 'C5': C5,'C6':C6,'C7':C7, 'C8': C8, 'C9':C9,'C10': C10,'C11':C11, 'C12': C12, 'C13': C13,
'C14': C14});
```

Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Gonzanamá

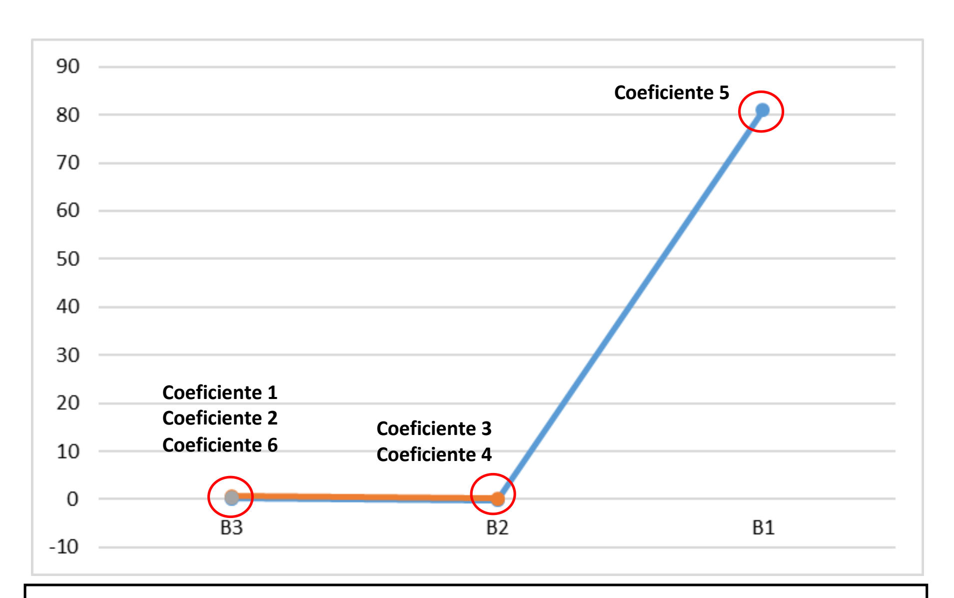
https://bit.ly/3Kd2rLn

Líneas 446-456: generación de los índices espectrales de vegetación NDVI y Moisture; transformación de las variables a utilizar como "bandas"; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de las ecuaciones diferenciales para cada coeficiente en el modelo MARS (para el caso de Loja hay 6 coeficientes que dividen los datos para su aplicación).

$$\boldsymbol{Hinge\ function\ o\ funci\acute{o}n\ bisagra\ para\ el\ Coeficiente\ 1}:$$

$$\boldsymbol{Coef_1} = \left(\max\left(0, \left(B3 - (0.20218)\right)\right) * -31.6\right)$$, siendo **B3 =** índice NDVI

Se aplica para casos en que el índice NDVI (B3) es mayor a 0.20218; en caso contrario se asigna 0.




```
function MARS_Gonzanama (){
var Moisture = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']); var B2 = Moisture;
var NDVI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8', 'B4']); var B3 = NDVI;
var bandas = B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).rename('B1','B2','B3','B4');
var Coef_1 = bandas.expression('float(max(0,(B3-(0.20218)))*-31.6)', {'B3':
bandas.select('B3')}); var Coef_2 = bandas.expression('float(max(0,(B3-(0.62273)))*-
123000)', {'B3': bandas.select('B3')});
var Coef_3 = bandas.expression('float(max(0,(B2-(-0.2067)))*-25.5)', {'B2':
bandas.select('B2')}); var Coef_4 = bandas.expression('float(max(0,(B2-(0.15807)))*36.6)',
{'B2': bandas.select('B2')});
var Coef_5 = bandas.expression('float(max((80.8943-B1),0)*0.0929)', {'B1':
bandas.select('B1')}); var Coef_6 = bandas.expression('float(max(0,(B3-(0.39173)))*14.1)',
{'B3': bandas.select('B3')});
var C0 = 9.32; var C1=
ee.Image(1).where(B3.gt(0.20218),Coef_1).where(B3.lte(0.20218),0); var C2=
ee.Image(1).where(B3.gt(0.62273),Coef_2).where(B3.lte(0.62273),0);
var C3= ee.Image(1).where(B2.gt(-0.2067),Coef_3).where(B2.lte(-0.2067),0); var C4=
ee.Image(1).where(B2.gt(0.15807),Coef_4).where(B2.lte(0.15807),0);
var C5= ee.Image(1).where(B1.lte(80.8943),Coef_5).where(B1.gt(80.8943),0); var C6=
ee.Image(1).where(B3.gt(0.39173),Coef_6).where(B3.lte(0.39173),0);
var Coef = bandas.expression('C0+C1+C2+C3+C4+C5+C6',  {'C0': C0, 'C1': C1, 'C2': C2,
'C3': C3,'C4': C4, 'C5': C5,'C6':C6});
```

Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Quilanga

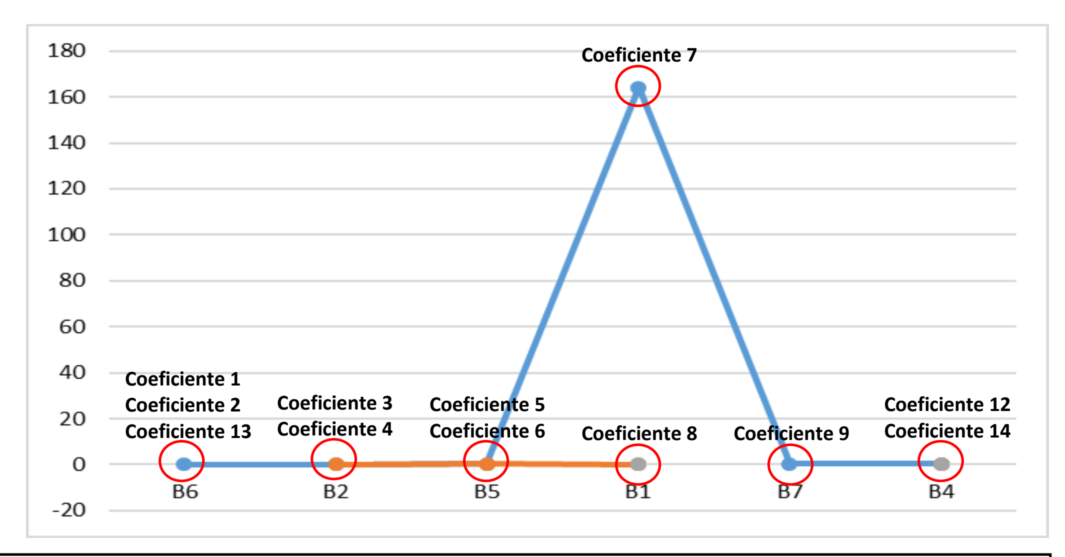
https://bit.ly/3dEoDSj

Líneas 446-456: generación de los índices espectrales de vegetación NDVI, BSI y Moisture; transformación de las variables a utilizar como "bandas"; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de las ecuaciones diferenciales para cada coeficiente en el modelo MARS (para el caso de Loja hay 14 coeficientes que dividen los datos para su aplicación).

$$\boldsymbol{Hinge\ function\ o\ funci\acute{o}n\ bisagra\ para\ el\ Coeficiente\ 1}:$$

$$\boldsymbol{Coef_1} = \left(\max\left(0, \left(B6 - (0.10787)\right)\right) * -85.2\right)$$, siendo **B6 =** índice NDVI

Se aplica para casos en que el índice NDVI (B6) es mayor a 0.10787; en caso contrario se asigna 0.




```
function MARS_Quilanga (){
m.Moisture = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']); var B5 = m.Moisture;
m.NDVI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8', 'B4']); var B6 = m.NDVI;
m.BSI = s2CloudMasked.expression('float(((Red+SWIR)-(NIR+Blue))/((Red+SWIR)+(NIR+Blue)))',
{'Red': s2CloudMasked.select('B11'), 'NIR': s2CloudMasked.select('B8'), 'SWIR': s2CloudMasked.select('B4'), 'Blue':
s2CloudMasked.select('B2')}); var B7 = m.BSI;m.bandas =
B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).addBands(B5).addBands(B6).addBands(B7).addBands(B8).rename('B1','B2','B3','B
4','B5','B6','B7','B8' );

m.Coef_1 = m.bandas.expression('float(max(0,(B6-(0.10787)))*85.2)', {'B6': m.bandas.select('B6')}); m.Coef_2 =
m.bandas.expression('float(max((0.10787-B6),0)*-36.2)', {'B6': m.bandas.select('B6')}); m.Coef_3 =
m.bandas.expression('float(max(0,(B2-(0.131034)))*68)', {'B2': m.bandas.select('B2')}); m.Coef_4 =
m.bandas.expression('float(max((0.131034-B2),0)*24.5)', {'B2': m.bandas.select('B2')}); m.Coef_5 =
m.bandas.expression('float(max(0,(B5-(0.34134)))*30.5)', {'B5': m.bandas.select('B5')}); m.Coef_6 =
m.bandas.expression('float(max((0.34143-B5),0)*11.1)', {'B5': m.bandas.select('B5')}); m.Coef_7 =
m.bandas.expression('float(max((164.045-B1),0)*0.0263)', {'B1': m.bandas.select('B1')}); m.Coef_8 =
m.bandas.expression('float(max((0.169706-B3),0)*-15.4)', {'B3': m.bandas.select('B3')}); m.Coef_9 =
m.bandas.expression('float(max((0.22616-B7),0)*-4.7)', {'B7': m.bandas.select('B7')}); m.Coef_10 =
m.bandas.expression('float(max(0,(B4-(0.367967)))*-142)', {'B4': m.bandas.select('B4')}); m.Coef_11 =
m.bandas.expression('float(max((0.367967-B4),0)*161)', {'B4': m.bandas.select('B4')}); m.Coef_12 =
m.bandas.expression('float(max(0,(B4-(0.0447214)))*171)', {'B4': m.bandas.select('B4')}); m.Coef_13 =
m.bandas.expression('float(max(0,(B6-(-0.01134)))*-89)', {'B6': m.bandas.select('B6')}); m.Coef_14 =
m.bandas.expression('float(max(0,(B4-(0.241661)))*-29.2)', {'B4': m.bandas.select('B4')});
m.C0 = -46.1; m.C1= ee.Image(1).where(B6.gt(0.10787),m.Coef_1).where(B6.lte(0.10787),0); m.C2=
ee.Image(1).where(B6.lte(0.10787),m.Coef_2).where(B6.gt(0.10787),0); m.C3=
ee.Image(1).where(B2.gt(0.131034),m.Coef_3).where(B2.lte(0.131034),0); m.C4=
ee.Image(1).where(B2.lte(0.131034),m.Coef_4).where(B2.gt(0.131034),0); m.C5=
ee.Image(1).where(B5.gt(0.34134),m.Coef_5).where(B5.lte(0.34134),0); m.C6= ee.Image(1).where(B5.lte(0.34134),m.Coef_6).where(B5.gt(0.34134),0);
m.C7= ee.Image(1).where(B1.lte(164.045),m.Coef_7).where(B1.gt(164.045),0); m.C8=
ee.Image(1).where(B1.lte(0.169706),m.Coef_8).where(B1.gt(0.169706),0); m.C9=
ee.Image(1).where(B7.lte(0.22616),m.Coef_9).where(B7.gt(0.22616),0); m.C10=
ee.Image(1).where(B4.gt(0.367967),m.Coef_10).where(B4.lte(0.367967),0); m.C11=
ee.Image(1).where(B4.lte(0.367967),m.Coef_11).where(B4.gt(0.367967),0); m.C12=
ee.Image(1).where(B4.gt(0.0447214),m.Coef_12).where(B4.lte(0.0447214),0); m.C13= ee.Image(1).where(B6.gt(-0.01134),m.Coef_13).where(B6.lte(-
0.01134),0); m.C14= ee.Image(1).where(B4.gt(0.241661),m.Coef_14).where(B4.lte(0.241661),0);

m.Coef = m.bandas.expression('C0+C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+C12+C13+C14',
   {'C0': m.C0, 'C1': m.C1, 'C2': m.C2, 'C3': m.C3,'C4': m.C4, 'C5':
m.C5,'C6':m.C6,'C7':m.C7,'C8':m.C8,'C9':m.C9,'C10':m.C10,'C11':m.C11,'C12':m.C12,'C13':m.C13,'C14':m.C14});
```

Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Catamayo

https://bit.ly/3QMMT3k

Líneas 446-452: generación de los índices espectrales de vegetación BSI, Moisture y NDVI; transformación de las variables a utilizar como "bandas"; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de la ecuación de Logistic Model Tree (para el caso de Catamayo tiene una sola hoja, por lo que se aplica una ecuación a todos los datos).

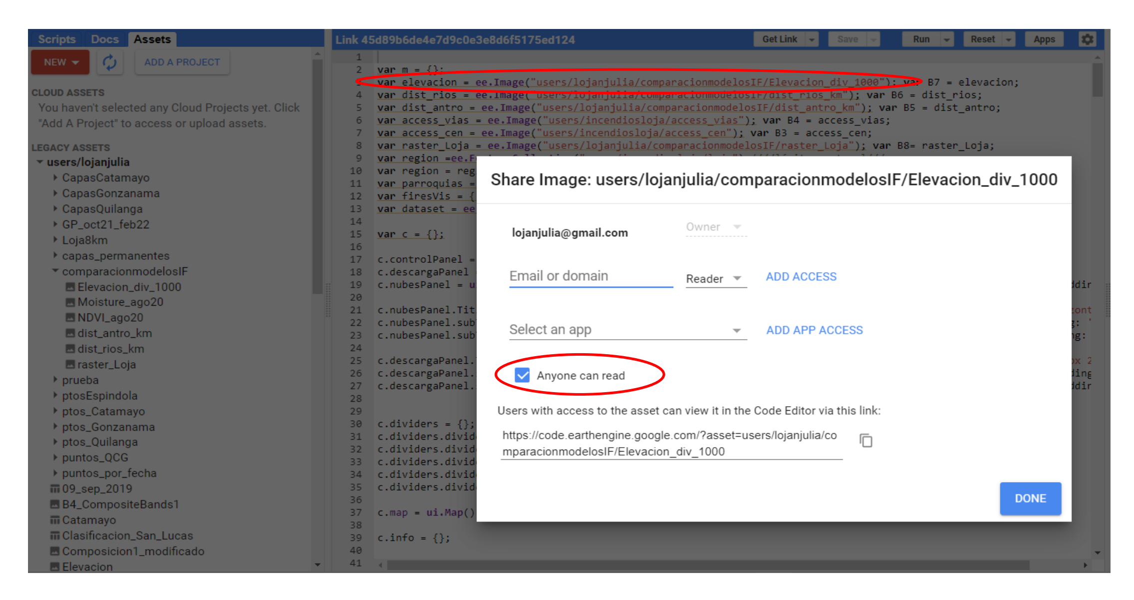
$$\boldsymbol{Logit} = 2.64 + (B3 * -4.37) + (B2 * -3.43) + (B1 * -0.37)$$

B1 = elevación (km)
B2 = índice Moisture
B3 = índice NDVI

```
function LMT_Catamayo (){
var Moisture = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']); var B2 = Moisture;
var NDVI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8', 'B4']); var B3 = NDVI;
var bandas = B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B5).rename('B1','B2','B3','B5');
var Logit_LMT = bandas.expression(
   'float(2.64 + (-4.37*B3) + (-3.43 * B2) + (-0.37 * B1)) ', {'B1': bandas.select('B1'), 'B2':
bandas.select('B2'),'B3': bandas.select('B3')});
```

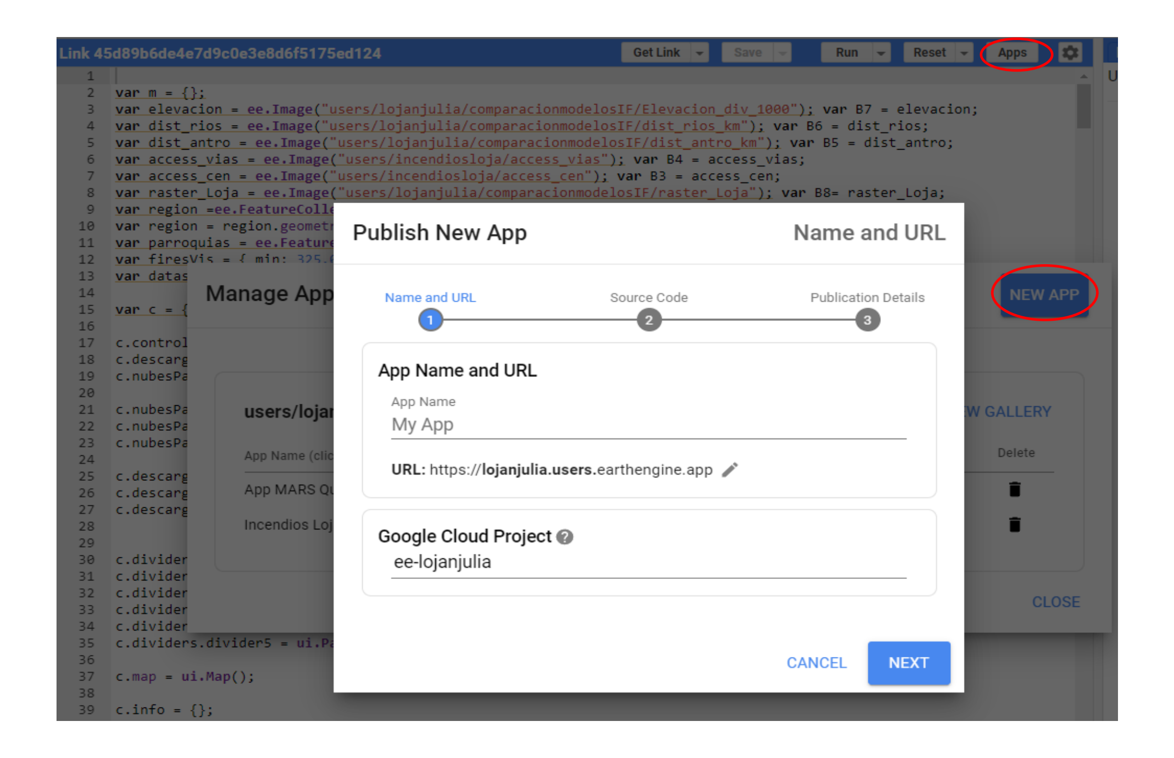
Lanzamiento del visor como una Earth Engine App

Una vez que el script sea funcional, se procede a revisar el acceso público de las capas o variables importadas con el fin de evitar errores y hacer que la experiencia del usuario final transcurra sin inconvenientes:



El lanzamiento del script como un visor de consulta es posible utilizando la opción **Apps** de la esquina superior derecha en nuestro tablero de código. Para una explicación más detallada de este proceso se pueden revisar los siguientes enlaces:

- Publishing an Earth Engine App to Accompany your Research Paper - YouTube
- Publishing an EE App to Accompany your Research Paper - Documentos de Google



GLOSARIO DE FUNCIONES DE GOOGLE EARTH ENGINE APLICADAS A LOS VISORES DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

ee.Image: un objeto que representa una imagen, generalmente en formato .GeoTIFF. Equivalente al uso del término *ráster* en sistemas de información geográfica tradicionales.

ee.Image.where(): operador condicional para filtrar o seleccionar pixeles en ráster (ee.Image).

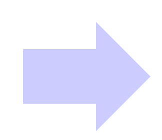
Image.where(test, value)

Ejemplo de utilización dentro del script:

m.C1= ee.Image(1).where(B6.gt(0.10787),m.Coef_1).where(B6.lte(0.10787),0);

En este caso, si la celda tiene un valor mayor a 0.10787 en la banda 6 se reemplaza por el coeficiente 1 (hipotéticamente valor de 5); si la celda tiene un valor menor o igual a 0.10787 en la banda 6 se reemplaza por 0.

0.10787	-0.68	0.78
2.32	1.12	0.012
-9.85	-5.21	3.25



0	0	5
5	5	0
0	0	5

ee.Image.byte(): convierte el valor de entrada en un entero de 8 bits sin signo.

ee.Image.paint(): pinta las geometrías de una colección en una imagen.

Image.paint(featureCollection,color, width)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var empty = ee.Image().byte();
var outline = empty.paint({ featureCollection: parroquias,
  color: 1, width: 2 });
```

Se utilizó para la visualización de las parroquias en cada cantón sin relleno (límites parroquiales)

ee.Image.select(): selecciona una banda dentro de un ráster (ee.Image)

Image.select(var_args)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var dataset = ee.ImageCollection('FIRMS').filter(ee.Filter.date(fecha2_FC, fecha1_FC));
var fires = dataset.select('T21');
```

Con estas líneas de código, seleccionamos solamente una de las tres bandas disponibles en los focos de calor (FIRMS Nasa), que es el componente de brightness temperature

ee.Image.expression(): permite realizar operaciones aritméticas en imágenes ráster, sería equivalente a la calculadora ráster en QGIS.

Image.expression(expression, map)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
m.BSI = s2CloudMasked.expression('float(((Red+SWIR)-(NIR+Blue))/((Red+SWIR)+(NIR+Blue)))',
{'Red': s2CloudMasked.select('B11'), 'NIR': s2CloudMasked.select('B8'),
'SWIR': s2CloudMasked.select('B4'), 'Blue': s2CloudMasked.select('B2')});
```

Cálculo del índice BSI siguiendo la fórmula (Red+SWIR)-(NIR+Blue) / (Red+SWIR)+(NIR+Blue)

ee.Image.addBands(): integra bandas a una imagen.

Image.addBands(scrImg, names, overwrite)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
m.bandas =
B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).addBands(B5).addBands(B6).addBands(B7).addBands(B8).rename('B1','B2','B3','B4','B5','B6','B7','B8' );
```

Aquí se integran las ocho variables que se necesitan para el modelo de Quilanga en una sola imagen.

ee.updateMask(): actualiza la máscara de una imagen en todas las posiciones donde la máscara existente no es cero. Equivalente a la herramienta "Cortar ráster por capa de máscara" en QGIS.

Image.updateMask(mask)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
function maskClouds(img) {var clouds = ee.Image(img.get('cloud_mask')).select('probability');  var isNotCloud = clouds.lt(perminubes);  return img.updateMask(isNotCloud);}

function maskEdges(s2_img) {return s2_img.updateMask(
s2_img.select('B8A').mask().updateMask(s2_img.select('B9').mask()));}
```

Función para recortar o enmascarar las nubes de las imágenes Sentinel-2

ee.Image.reduceNeighborhood(): aplica "reductores" a las celdas para suavizar o generalizar la imagen ráster. Herramienta equivalente a "Simple Filter" de SAGA GIS.

ee.Image.toInt(): convierte el valor de entrada en un entero de 32 bits con signo.

ee.Image.pixelArea(): permite calcular el área o superficie de cada celda.

ee.Image.add(): operador matemático de suma (+).

ee.Image.substract(): operador matemático de resta (-).

ee.Image.divide(): operador matemático de división (/).

ee.Image.multiply(): operador matemático de multiplicación (*).

ee.Image.getDownloadURL() / ee.FeatureCollection.getDownloadURL() : genera un enlace para descargar el archivo (ráster o vectorial). El tamaño máximo permitido es 32 MB.

Image.getDownloadURL(params, callback)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var URLDescarga = no_nulos.getDownloadURL( {
  name: 'Susceptibilidad a Incendios Forestales',
  scale: 35,
  crs:'EPSG:32717',
  region: region,
  filePerBand: false,
  format: "GEO_TIFF",
})
```

En este caso se solicita un enlace para descargar la capa de susceptibilidad a incendios forestales, a una escala de 35 metros, con el SRC 'EPSG: 32717' y en formato GeoTiff.

ee.ImageCollection: un objeto que almacena múltiples imágenes ráster (ee.Image)

ee.ImageCollection(args)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var s2Sr = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR');
```

Aquí se hace un llamado a toda la colección de imágenes Sentinel-2 que estén disponibles en Google Earth Engine (+5000 imágenes)

ee.ImageCollection.filterBounds(): permite seleccionar o recortar colecciones de imágenes para un límite dado.

ee.ImageCollection.filterDate(): permite filtrar colecciones de imágenes para un rango de fechas.

ImageCollection.filterBounds(geometry) ImageCollection.filterDate (start,end)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var criteria = ee.Filter.and(ee.Filter.bounds(region), ee.Filter.date(START_DATE, END_DATE));
```

En este caso se filtra la colección Sentinel 2 para la fecha seleccionada en el panel de control y se recorta para el límite del cantón.

ee.Image.clip(): permite recortar imágenes ráster (ee.Image) siguiendo la geometría de archivos vectoriales (ee.Feature / ee.Geometry)

ee.Image.median(): calcula la mediana de una colección de imágenes. Es posible obtener otros estadísticos: .mean(), .min(), .max()

Image.clip(geometry) ImageCollection.median()

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var s2 =  ee.ImageCollection(s2S).median().clip(region);
```

En este caso se calcula la mediana de las imágenes Sentinel 2 para la fecha seleccionada y se recorta para el límite.

ee.FeatureCollection: un objeto que almacena información de manera similar al formato vectorial en QGIS

ee.Number.parse(): convierte una cadena de texto en número

ee.Date.fromYMD(): construye una fecha a partir de información base (año, mes, día)

ee.Date.advance(): crea una nueva fecha según los parámetros que se le asignen

ee.Date.fromYMD(year,month,day,timeZone) Date.advance (delta,unit,timeZone)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var START_DATE = ee.Date.fromYMD(2020, 08, 24);
var END_DATE = START_DATE.advance ( 1, 'day');
```

En este caso la fecha inicial sería 24-08-2020, y la fecha final 25-08-2020 (1 día adelante).

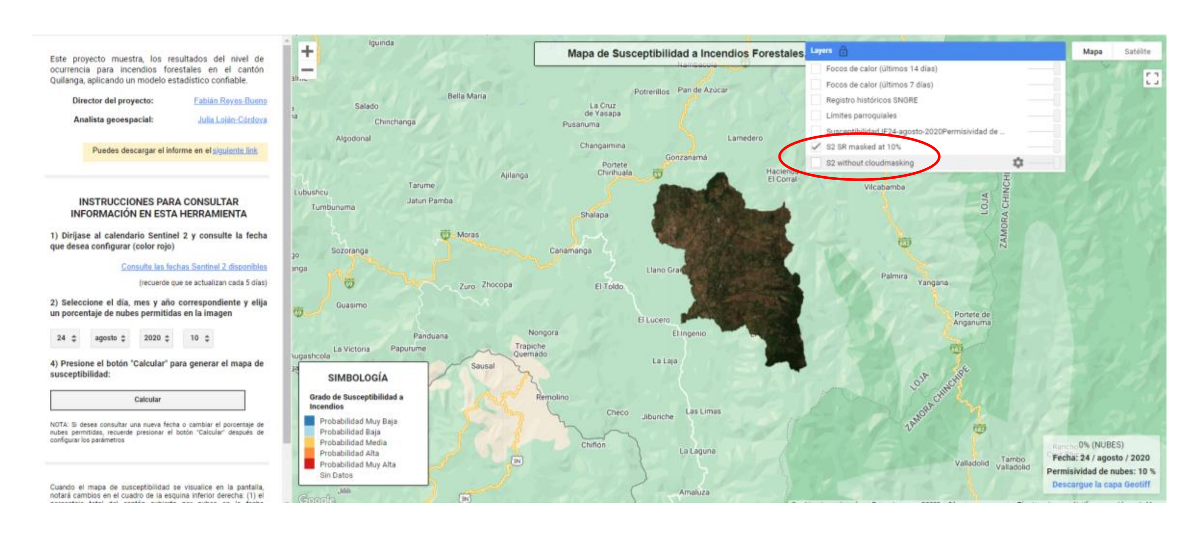
ui.Map.addLayer: añade objetos (ee.Image o ee.FeatureCollection) al mapa como una capa.

Map.addLayer (eeObject, visParams, name, shown, opacity)

.layers().set(): permite "enlistar" u ordenar las capas a mostrar en el mapa

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var layer1 = ui.Map.Layer(
   s2, rgbVis, 'S2 without cloudmasking',     false);
  c.map.layers().set(0, layer1);
var layer2 = ui.Map.Layer(
   s2CloudMasked, rgbVis, 'S2 SR masked at ' + MAX_CLOUD_PROBABILITY + '%', false);
  c.map.layers().set(1, layer2);
```



Map.centerObject(): permite centrar el mapa a un objeto dado y a un determinado nivel de zoom.

Map.setOptions(): permite configurar el mapa base (satélite, terreno, calles, etc.)

ui.Panel: crea un objeto “widget” o panel que puede contener otros objetos o paneles.

ui.Label: crea etiquetas de texto que pueden añadirse a los paneles.

ui.Buttom(): crea un botón para desencadenar una acción.

ui.Label.setValue(): configurar un valor por defecto para las etiquetas de texto (ui.Label)

Label.setValue(value)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
c.nubesPanel.Title.setValue('Porcentaje de nubes en la imagen S2');
c.nubesPanel.subTitle.setValue('Fecha de la imagen S2');
c.nubesPanel.subTitle2.setValue('Permisividad de nubes');
c.descargaPanel.Title.setValue('Link de descarga');
```

ui.Select.getValue(): captura el valor elegido en el panel de control para utilizarlo posteriormente.

ui.Button.onClick(): hace una devolución de llamada (repita una acción) cuando recibe un click.

ui.Select.onChange(): hace una devolución de llamada (repita una acción) cuando cambia la selección.